

Forschungszentrum Jülich



Zentralabteilung Technologie

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Hans Kämmerling

Jül-3629

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Hans Kämmerling

Berichte des Forschungszentrums Jülich ; 3629
ISSN 0944-2952
Zentralabteilung Technologie Jül-3629

Zu beziehen durch : Forschungszentrum Jülich GmbH · Zentralbibliothek
D-52425 Jülich · Bundesrepublik Deutschland
☎ 02461/61-6102 · Telefax: 02461/61-6103 · e-mail: zb-publikation@fz-juelich.de

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Der TOF-Szintillator-Ringdetektor ist ein Teil des Flugzeitspektrometers TOF, ein externes Experiment am Jülicher Beschleunigerring COSY (Cooler Synchrotron). Mit diesem Detektor werden die Reaktionen in Stößen von Protonen auf Protonen und Protonen auf Deuteronen durch Nachweis der Geschwindigkeiten und Richtungen aller geladenen Teilchen untersucht.

Das TOF-Experiment besteht aus einem Vakuumtank, der innen mit Szintillationszählern ausgekleidet ist. Der Strahl tritt am Eingang des Systems auf ein Target. Mit direkt dahinter angeordneten zusätzlichen, sehr dünnen Szintillationszählern und den Zählern an der Tankwand können die Richtung und Geschwindigkeit der geladenen Reaktionsprodukte über einen sehr großen Winkelbereich gemessen werden.

Dieser Bericht beschäftigt sich weniger mit der Kernphysik als mit der Fertigung, Halterung und Montage des Ringdetektors. Der Vakuumtank hat, je nach Experimentaufbau, eine Länge von 9850 mm und einen Durchmesser von 4000 mm. Der Ringdetektor setzt sich aus drei hintereinander liegenden Szintillator-Ebenen, von je 5 mm Dicke, zusammen. Es werden 192 Szintillatorstreifen benötigt, an deren Ende Lichtleiter geklebt werden.

Die Szintillatorstreifen werden im Vakuumtank durch eine spezielle Halterung aus Carbon befestigt. Die Halterung besteht aus einer gewickelten Carbon-Nabe und 12 Carbonspeichen, die, die Nabe spannen und zentrieren.

TOF-Scintillator-Ringdetector

The TOF-ScintillatorRingdetector is part of the Time-of-Flight Spectrometer TOF which is an external experiment at the Cooler Synchrotron COSY in Jülich. With this detector, the reactions of proton to proton and proton to deuteron interaction is studied via detection of velocities and direction of the loaded particles.

The TOF experiment consists of a vacuum vessel which is filled with scintillator counters. The proton beam enters the system hitting a target. With some very thin scintillator counters arranged directly behind that target and further counters mounted on the wall of the vessel the direction and the velocity of loaded reaction products can be measured scanning a huge angle spectrum.

This report focuses less on the nuclear physics but on the manufacturing, fixing and mounting of the ring detector. The vacuum vessel has, dependent on the experimental set-up, a length of up to 9850 mm and a diameter of 4000 mm. The ringdetector is composed by three scintillators levels, one following the other and each 5 mm thick. 192 szintillator strips are needed; on each end a light conductor is glued.

The scintillator strips are fixed in the vacuum vessel by a special device made of carbon. The fixation consists of a winded carbon wheel hub and twelve carbon spokes, which do center and position the wheel hub.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Einleitung	3
1.1	Das Time- Of-Flight-Spektrometer	3
1.2	Der Vakuumtank	4
1.3	Aufbau des Spektrometers	5
1.4	Experimentaufbau: Rossendorfer-Barrel/Ringdetektor	6
2	Der Szintillator-Ringdetektor	7
2.1	Aufbau	7
2.1.1	Szintillatoren	8
2.1.1.1	‘Pizza‘-Szintillatorstreifen	9
2.1.1.2	‘Bananen‘-Szintillatorstreifen	11
2.2	Lichtleiter	14
2.3	Photomultiplier	14
3	Halterung	15
3.1	Carbon-Nabe	16
3.1.1	Werkstoff	16
3.1.2	Konstruktion	17
3.1.3	Wickeln und mechanische Fertigung	18
3.2	Carbon-Speichen	19
3.3	Haltebolzen mit Spannvorrichtung	20
3.4	Segmentringe mit Haltewinkel und Spannbügel	21
3.5	Stegplatte mit Carbonstreifen	22
4	Vorversuche	23
4.1	Carbon-Nabe und Carbonspeichen	23
4.2	Testaufbau der ‘Banane‘-Rechts-Ebene mit Stegplatte und Carbonstreifen	25
4.3	Testaufbau der drei Szintillatorebenen	26
4.4	Ausgasungsmessungen verschiedener Werkstoffe	27
5	Montage des Szintillator-Ringdetektors	28
6	Literaturverzeichnis	36

TOF-Szintillator-Ringdetektor

1 Einleitung

1.1 Das Time-Of-Flight-Spektrometer

Das Flugzeitspektrometer **TOF** ist ein externes Experiment am Beschleunigerring **COSY**.

COSY (Cooler Synchrotron) ist eine nach dem Synchrotronprinzip arbeitende Beschleunigeranlage, die hochenergetische Protonen- und Deuteronenstrahlen erzeugt.

Das Herzstück ist ein 184 m langer rennbahnförmiger Speicher- und Beschleunigerring. Der Ring selbst besteht aus zwei 52 m langen halbkreisförmigen Vakuumkammern und zwei 40 m langen geraden Vakuumkammern.

Die Projektile, Kerne von Wasserstoff- und Deuteriumatomen, werden durch Ionisation aus dem entsprechenden Gas erzeugt und in dem Jülicher Isochronzyclotron vorbeschleunigt. Über eine 100 m lange Strahlführung werden sie dann in den **COSY**-Ring injiziert. Dort werden sie durch Magnete auf der Umlaufbahn in der Vakuumkammer gehalten und bei jedem Umlauf, rund eine millionmal je Sekunde, durch eine elektrische Spannung beschleunigt. Der Impuls nimmt bei der Beschleunigung von Injektions- auf Maximalenergie um den Faktor 12 zu. Die Protonen werden mit etwa einem Drittel der Lichtgeschwindigkeit c injiziert und erreichen $0,97 \cdot c$ bei der Maximalenergie. Derzeit steht ein Protonenstrahl mit kinetischen Energien zwischen 40 und 2600 Mega-Elektronenvolt (MeV) für Experimente zur Verfügung.

TOF dient als universelles Gerät für eine Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungen wie zu Stößen, bei denen das Projektil beim Zusammenprall mit dem Targetkern abgebremst und die dabei freiwerdende Energie als elektromagnetische Welle abgestrahlt wird (Bremsstrahlung) und zur Erzeugung von Mesonen, auch solcher mit seltsamen Eigenschaften, man sagt mit Strangeness. Bis in die Vierziger Jahre dieses Jahrhunderts ist man davon ausgegangen, daß unsere Materie aus den Protonen und Neutronen in den Kernen der Atome und den Elektronen in der Hülle besteht. Dann wurden mehr und mehr neue Teilchen, zunächst in der Strahlung aus dem Weltall, später auch an Beschleunigern entdeckt. Man unterschied Leptonen (leptos = leicht) wie das Elektron, mittelschwere Mesonen (mesos = mittel) und schwere Baryonen (barys = schwer), z.B. die Kernbestandteile Proton und Neutron. Nach heutiger Kenntnis ist die Vielzahl der Teilchen aus wenigen Bausteinen zusammengesetzt, den Leptonen und den Quarks. Quarks sind außerordentlich kleine, elementare und unteilbare Bausteine der Atomkerne, die nicht als freie Teilchen sondern nur als Bausteine zusammengesetzter Teilchen existieren. Versucht man Quarks durch Energiezufuhr aus Neutronen und Protonen herauszuschlagen, so findet man, daß die zugeführte Energie in Quark-Antiquark-Paare und damit in neue Teilchen, Mesonen, verwandelt wird.

Die uns umgebende Welt ist weitgehend aus Quarks der Sorten „up“ und „down“ aufgebaut. Die anderen Quarksorten sind schwerer als diese und werden als Bestandteile kurzlebiger Teilchen erzeugt. Die an **COSY** zur Verfügung stehende Energie reicht aus, um Teilchen zu produzieren, die „strange“ Quarks enthalten, Teilchen mit Seltsamkeit.

Das **TOF**-Experiment besteht aus einem Vakuumtank, der innen mit Szintillationszählern ausgekleidet ist. Der Strahl trifft am Eingang des Systems auf ein Target. Mit direkt dahinter angeordneten zusätzlichen, sehr dünnen Szintillationszählern und den Zählern an der Tankwand können die Richtung und Geschwindigkeit aller geladenen Reaktionsprodukte über einen sehr großen Winkelbereich gemessen werden.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

1.2 Der Vakuumtank

Der TOF-Vakuumtank ist modular aufgebaut. Durch das Vertauschen der einzelnen Bauteile können unterschiedliche Experimentanordnungen realisiert werden.

Geometrie:	Außendurchmesser	4000 mm
	Gesamtlänge	9850 mm
	Länge pro Schuß	2500 mm
	Gesamtvolumen	72800 dm ³
Werkstoff:	1.4541	
Betriebstemperatur:	Raumtemperatur	
Betriebsdruck:	1·10 ⁻³ mbar	

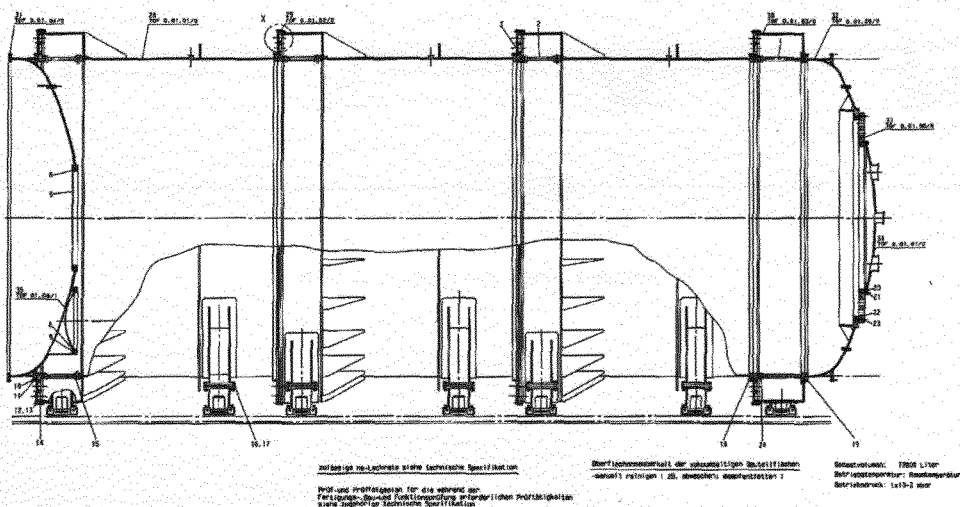
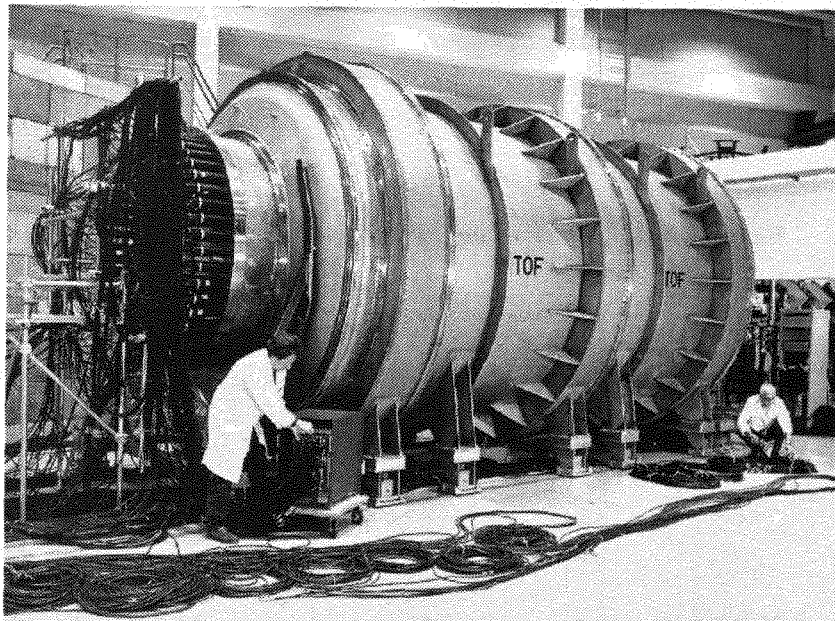


Bild 1: TOF-Vakuumtank

TOF-Szintillator-Ringdetektor

1.3 Aufbau des Spektrometers

Das TOF-Spektrometer besteht aus fünf voneinander unabhängigen Einzeldetektoren:

- dem Startdetektor (start detector), direkt hinter dem Target
- dem Schuß 3 (barrel 3)
- dem Schuß 2 (barrel 2)
- dem Schuß 1 (barrel 1)
- dem Ringdetektor (ring hodoscope)
- dem Quirl (central hodoscope)

Die inneren Oberflächen der barrels 2 und 3 sind mit je drei Lagen Szintillatorstreifen von 5 mm Dicke belegt. Zwei Lagen mit 48 Elementen sind gewundene Streifen, und eine Lage mit 96 Elementen gerade Streifen. Die Entwicklung dieser Szintillatoren findet zur Zeit im FZ-Jülich statt.

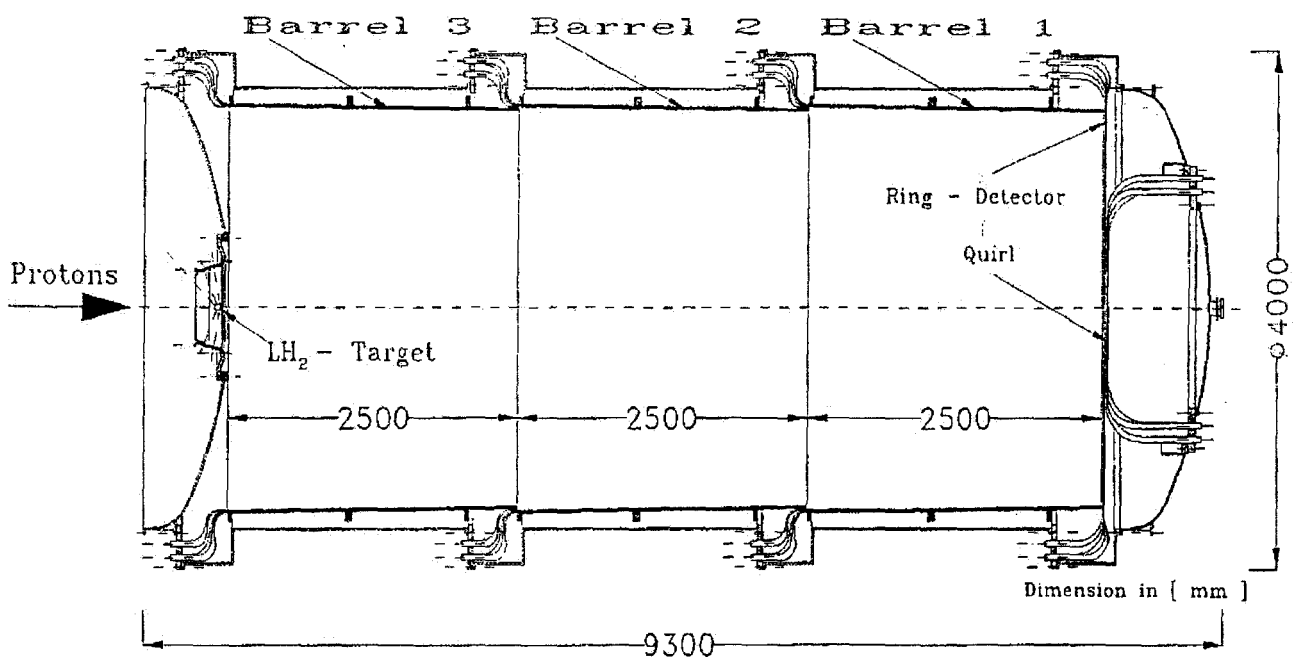


Bild 2: Aufbau des Spektrometers

TOF-Szintillator-Ringdetektor

1.4 Experimentaufbau: Rossendorfer-Barrel/Ringdetektor

Das Experiment besteht aus folgenden Komponenten:

- Startdetektor
- Schuß 1 (Rossendorfer-Barrel)
- Szintillator-Ringdetektor
- Quirl

Das Barrel 1 (Rossendorf) ist im Gegensatz zu den beiden Barrels 2 und 3 ein Szintillator der nur eine Lage Szintillatorstreifen hat und von zwei Seiten ausgelesen wird. Das bedeutet, daß am Anfang und am Ende der Szintillatorstreifen Lichtleiter und Photomultiplier befestigt sind. Die Szintillatorstreifen sind beim Rossendorfer-Szintillator 15 mm dicke gerade Streifen.

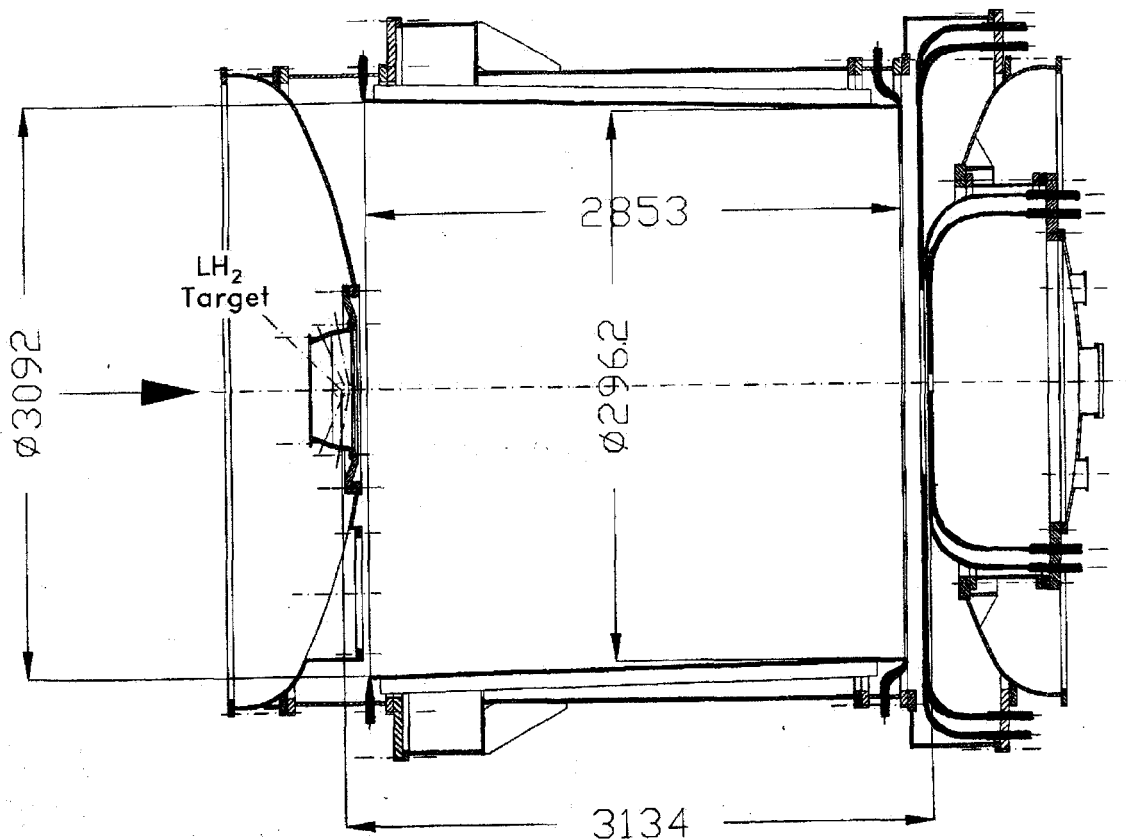


Bild 3: Experimentaufbau

TOF-Szintillator-Ringdetektor

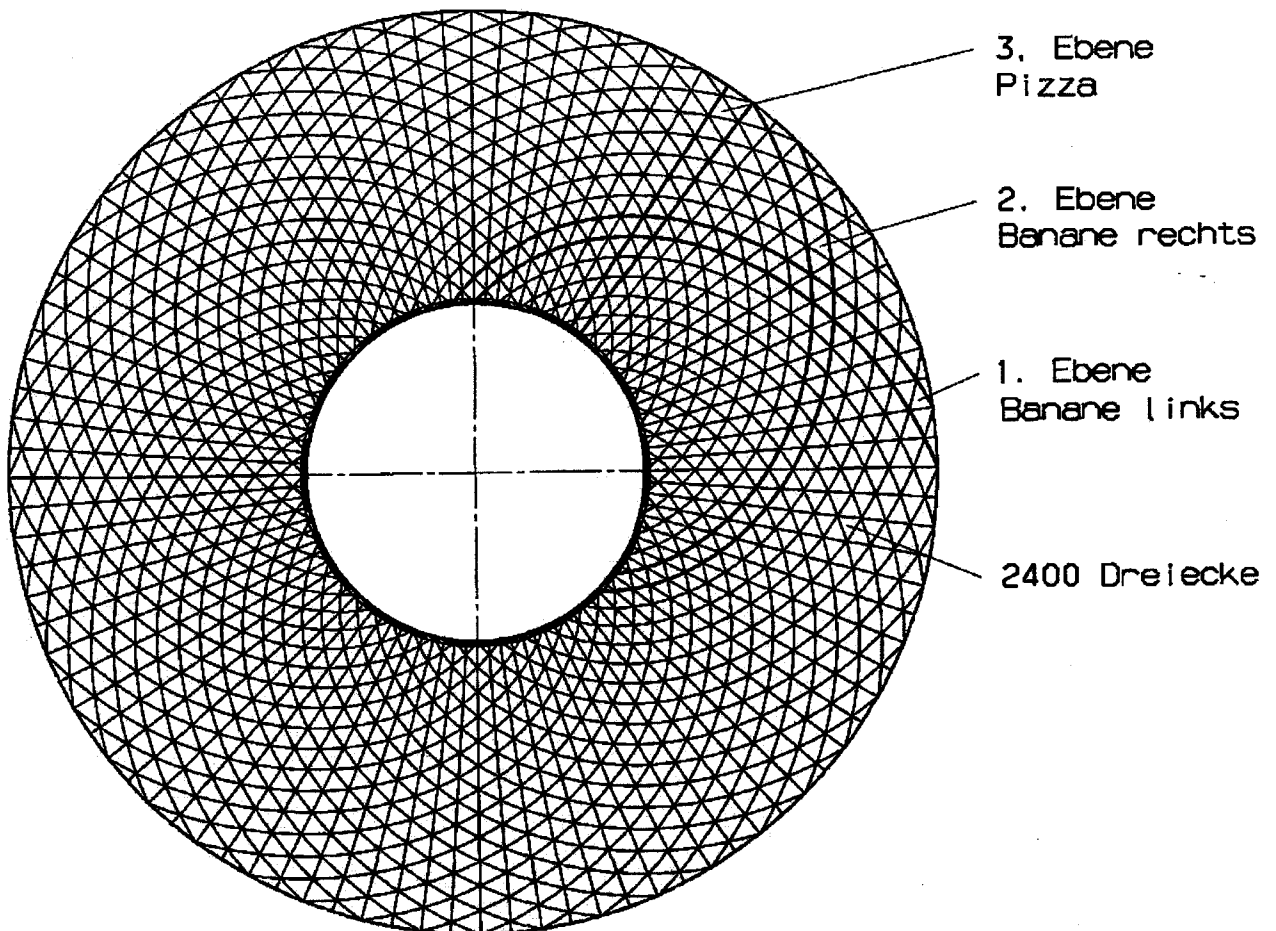
2 Der Szintillator-Ringdetektor

2.1 Aufbau

Der Ring setzt sich aus drei hintereinander liegenden Szintillator-Ebenen zusammen. Die Dicke der Szintillatorstreifen beträgt 5 mm, und der Abstand zwischen den Ebenen 4 mm. Der Innendurchmesser des Rings ist 1136 mm und der Außendurchmesser 3080 mm.

Die erste Ebene (aus Strahlrichtung gesehen) besteht aus 48 Elementen 'Banane'-Links. Die zweite Ebene aus 48 Elementen 'Banane'-Rechts und die dritte Ebene aus 96 geraden 'Pizza'-Elementen.

Am Ende jedes Szintillators ist ein Lichtleiter aus Plexiglas angeklebt. Auf diesen Lichtleiter ist ein Photomultiplier befestigt. Das bedeutet, daß 192 Lichtleiter und 192 Photomultiplier benötigt werden.

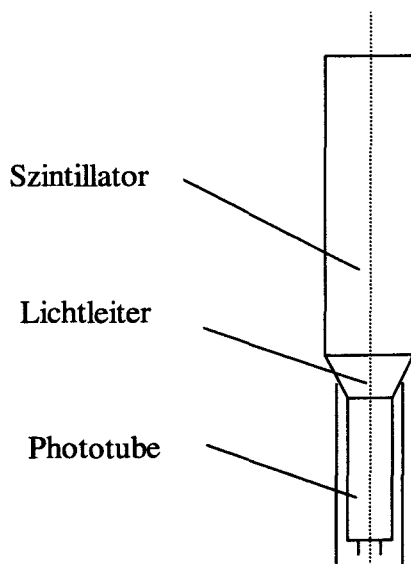


TOF-Szintillator-Ringdetektor

2.1.1 Szintillatoren

Der Szintillator ist der nachweisaktive Teil des Szintillationszählers. Er, und möglichst nur er, muß somit im Durchtrittsbereich der zu detektierenden Teilchen angebracht werden. Durch auftreffende ionisierende Strahlung werden im Szintillator Lichtblitze erzeugt. (Fluoreszenz).

Ein Szintillationszähler hat zwei Funktionen, er konvertiert die durch das ionisierende Teilchen verursachte Anregung eines Festkörpers in sichtbares Licht und leitet dieses Licht einer Photokathode zu. Organische Szintillatoren haben sehr kurze Abklingzeiten des Szintillationslichtes, und zwar im Bereich von Nanosekunden. Der Mechanismus der Szintillation ist hier kein Effekt des Gitters, sondern er beruht auf der Anregung von Molekülzuständen in einem primären Fluoreszenzstoff, die beim Zerfall UV-Licht emittieren. Da die Absorptionslänge dieses UV-Lichts in den meisten durchsichtigen organischen Materialien sehr kurz ist (einige mm), gelingt die Extraktion eines Lichtsignals nur dadurch, daß ein zweites fluoreszierendes Material beigemischt wird, in dem das UV-Licht in sichtbares Licht umgewandelt wird ("Wellenlängen-Schieber"). Dieser zweite Fluoreszenzstoff wird so ausgewählt, daß seine Absorption an die Wellenlänge des emittierenden primären Szintillators und seine Emission an den Wellenlängenbereich der Empfindlichkeit der Photokathode angepaßt ist. Als Grundmaterial für Plastik-Szintillatoren dienen Polymere aus aromatischen Verbindungen (Poly-Styrol (PST), Poly-Vinyltoluol (PVT)) oder aus alifatischen Stoffen (Acryl-Glas, Plexiglas, PMMA). Die aromatischen Szintillatoren ergeben eine etwa zweimal größere Lichtausbeute als alifatische, jedoch sind alifatische billiger und mechanisch viel leichter zu bearbeiten.



Das beim TOF-Experiment verwendete aromatische Szintillatormaterial Poly-Vinyltoluol wurde von der Firma Bycron geliefert.

Technische Daten des Szintillatormaterials:

Typ	BC 408
Dichte	1,032 kg / dm ³
Brechungsindex	1,58
Linearer Ausdehnungskoeffizient	7,8·10 ⁻⁵ / °C

TOF-Szintillator-Ringdetektor

2.1.1.1 'Pizza'-Szintillatorstreifen

Die 'Pizza'-Elemente sind gerade Szintillatorstreifen, die eine Länge von 972 mm haben und 5 mm dick sind. Die Streifen sind so konstruiert, daß 96 Stück einen Vollkreis ergeben.

Berechnung der Streifen:

Ra = Außenradius des Szintillatorrings

Ri = Innenradius des Szintillatorrings

Ra = 1540 mm

Ri = 568 mm

$$\alpha = 360^\circ / 96$$

$$\alpha = 3,75^\circ$$

$$\alpha / 2 = \underline{1,875^\circ}$$

$$\sin 1,875^\circ = x / 1540 \text{ mm}$$

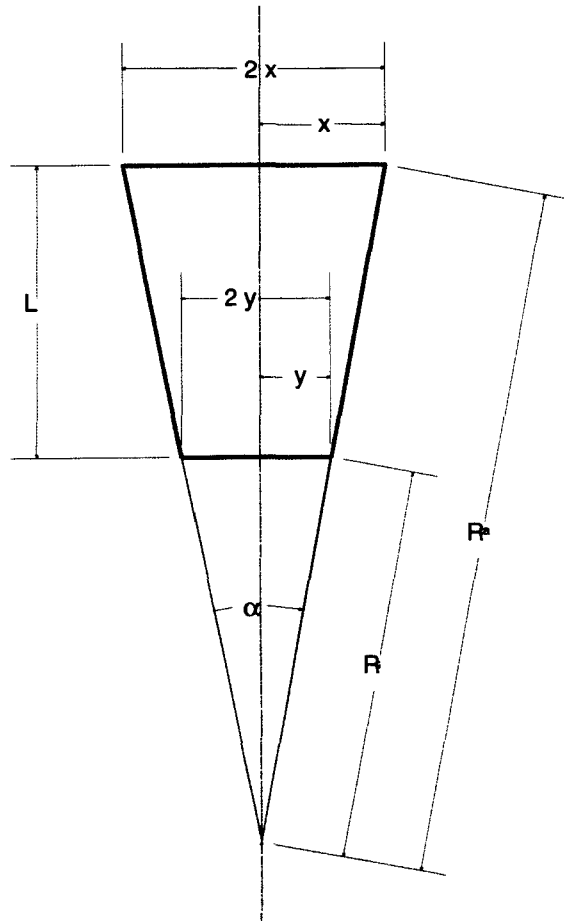
$$x = 50,387 \text{ mm}$$

$$2x = \underline{100,775 \text{ mm}}$$

$$\sin 1,875^\circ = y / 568 \text{ mm}$$

$$y = 18,584 \text{ mm}$$

$$2y = \underline{37,169 \text{ mm}}$$



Längenänderung Δl bei 10°C Temperaturerhöhung:

Linearer Ausdehnungskoeffizient $\alpha = 7,8 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

$l = 972 \text{ mm}$

$\Delta T = 10^\circ\text{C}$

$\Delta l = l \cdot \Delta T \cdot \alpha$

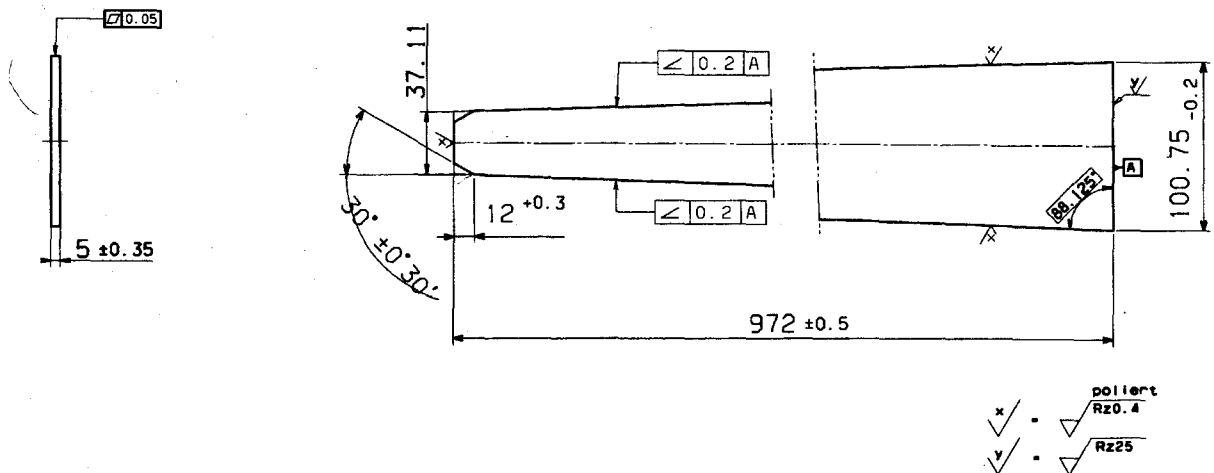
$\Delta l = 972 \text{ mm} \cdot 10^\circ\text{C} \cdot 7,8 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

$\Delta l = \underline{0,758 \text{ mm}}$

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Fertigungszeichnung der 'Pizza'-Szintillatorstreifen:

Alle Außenkanten



Die 'Pizza'-Elemente wurden nach Zeichnung des IKP's bei der Firma Bycron gefertigt.
 An der oberen Stirnfläche (100,75 mm) werden die im IKP gefertigten Lichtleiter angeklebt.
 Die untere Stirnfläche wird mittels der verspiegelten Plexiglasdreiecke und der Fasen in den Nuten der Carbon-Nabe positioniert (Siehe Kapitel Carbon-Nabe).

TOF-Szintillator-Ringdetektor

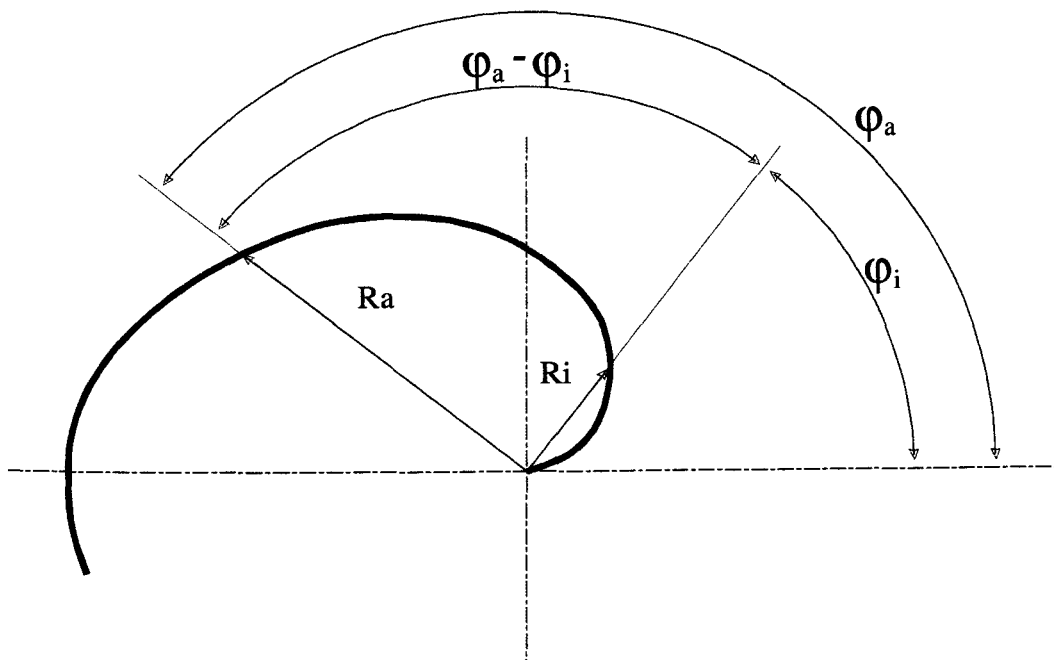
2.1.1.2 'Bananen'-Szintillatorstreifen

Die Konturen der 'Bananen'-Elemente sind Teil einer archimedischen Spirale.

Die archimedische Spirale:

Ein Punkt, der sich auf einem Leitstrahl (vom Ursprung aus) mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, während der Leitstrahl selbst sich gleichförmig um den Pol dreht, beschreibt eine archimedische Spirale.

Berechnung der archimedischen Spirale:



R_a = Außenradius des Szintillatorrings

R_i = Innenradius des Szintillatorrings

$R_a = 1540 \text{ mm}$

$R_i = 568 \text{ mm}$

$$\varphi_R = (R / R_a - R_i) \cdot 180^\circ / 2$$

$R_i = 568 \text{ mm}$

$\varphi_i = \underline{52,593^\circ}$

$R_a = 1540 \text{ mm}$

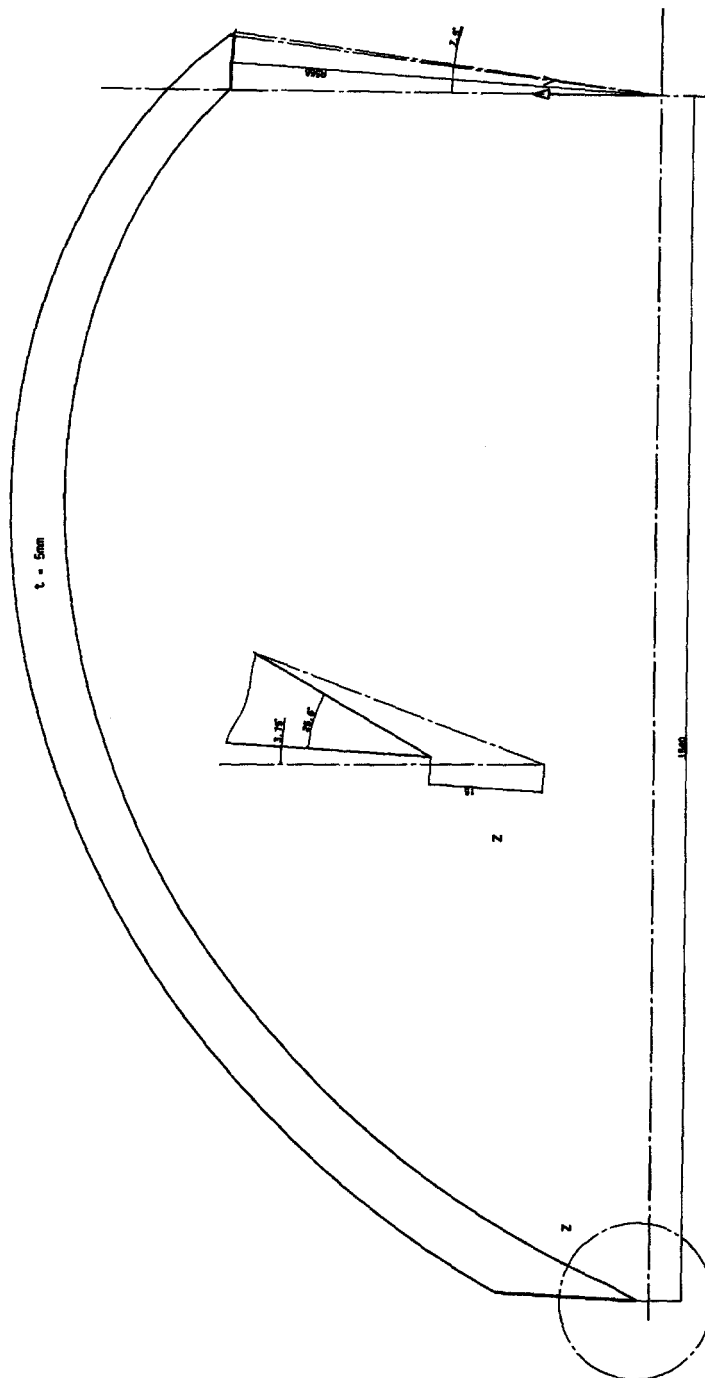
$\varphi_a = \underline{142,593^\circ}$

$\Delta\varphi = \varphi_a - \varphi_i$

$\Delta\varphi = \underline{90^\circ}$

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Fertigungszeichnung der 'Bananen'-Szintillatorstreifen:



Die 'Bananen'-Szintillatorstreifen wurden in der ZAT-Konstruktion mit dem CAD-System CATIA konstruiert. Anschließend wurden die Daten auf die CNC-gesteuerte Fräsmaschine der mechanischen Werkstatt der ZAT übertragen. Durch die extreme Empfindlichkeit und Elastizität des Materials erwies sich die Fertigung der Szintillatorstreifen als sehr schwierig. Trotzdem konnten die verlangten Toleranzen ($-0,25\text{ mm}$ von der theoretischen Breite) eingehalten werden, wie die späteren Messungen beweisen.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Vermessen der 'Bananen'-Szintillatorstreifen:



Die Messungen wurden bei der Firma Bernhard Grobusch in Inden/Altdorf durchgeführt. Es wurden die Sollkurven mittels CAD in die Meßmaschine eingegeben und mit den gemessenen Kurven der Istkurve verglichen. Um ein Verformen des Materials durch Verspannen zu vermeiden, wurden auf dem Szintillator lediglich Gewichte aufgelegt. Die Messungen haben ergeben, daß die Fertigungstoleranzen genügend genau eingehalten wurden. Die Abweichungen von der theoretischen Breite liegen zwischen 0,11 mm und 0,23 mm.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

2.2 Lichtleiter

Der Lichtleiter ist der Teil des Zählers, der die optische Ankopplung von Szintillator und Photokathode herstellt. Da deren Grundflächen meist geometrisch verschieden sind, kann man den Szintillatorblock nicht direkt in Kontakt mit der Photokathode bringen, was außerdem den Nachteil hätte, daß der Photomultiplier im Defektfall schwieriger zu ersetzen wäre.

Die Lichtleiter bestehen aus einem zylindrischen Teil und drei Einzelstreifen, die nach dem Biegen und Tempern zusammengeklebt werden. Bei 192 Lichtleiter bedeutet das, daß man 576 einzelne Streifen fräsen, biegen, tempern und mit den zylindrischen Teilen verkleben muß. Die Lichtleiter der verschiedenen Ebenen 1, 2 und 3 sind nicht baugleich. Sie müssen den jeweiligen Platzverhältnissen angepaßt werden.

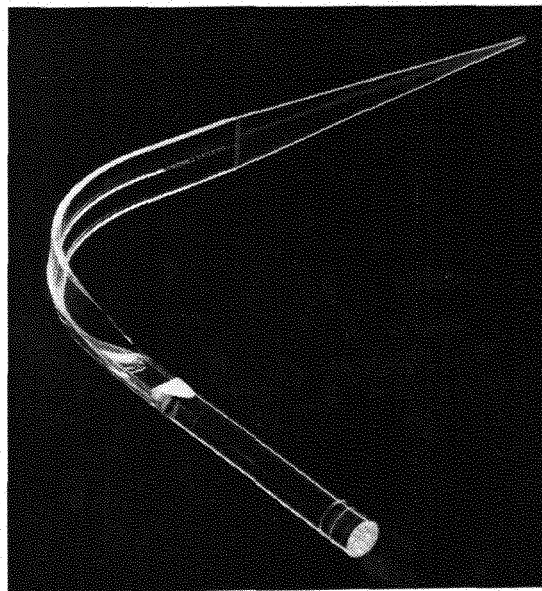


Bild 4: 'Pizza'-Szintillatorstreifen mit Lichtleiter

2.3 Photomultiplier

Der Photomultiplier besteht aus der Photokathode, welche die Lichtquanten durch den Photoeffekt in Photoelektronen konvertiert, und dem Sekundärelektronenvervielfacher.

Dieser verstärkt die von der Photokathode emittierten Photoelektronen mittels mehrerer sogenannter Dynoden. Eintretende Elektronen werden durch ein elektrisches Feld auf die 1. Dynode beschleunigt. Beim Auftreffen erzeugen sie auf der Dynodenoberfläche eine Anzahl α Sekundärelektronen. Diese werden wiederum zur nächsten Dynode beschleunigt, wo sich derselbe Vorgang fortsetzt. Man erhält so eine exponentiell anwachsende Zahl von Sekundärelektronen, so daß nach n Dynoden im Durchschnitt n^α Elektronen aus einem Photoelektron entstanden sind.

Hinter der letzten Dynode werden die Elektronen schließlich auf eine Anode beschleunigt, von der man dann das entstehende Signal abgreifen kann. Zum Aufbau der Beschleunigungsstrecke müssen Photokathode, Dynoden und Anode auf stetig ansteigende Potentiale gelegt werden. Diese Aufgabe übernimmt der Spannungsteiler.

Für den Szintillator-Ringdetektor werden 192 Photomultiplier der Firma Philips (Typ XP 2020) verwendet.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3 Halterung

Die Halterung des Szintillator-Ring-Detektors besteht aus fünf Bauteilen:

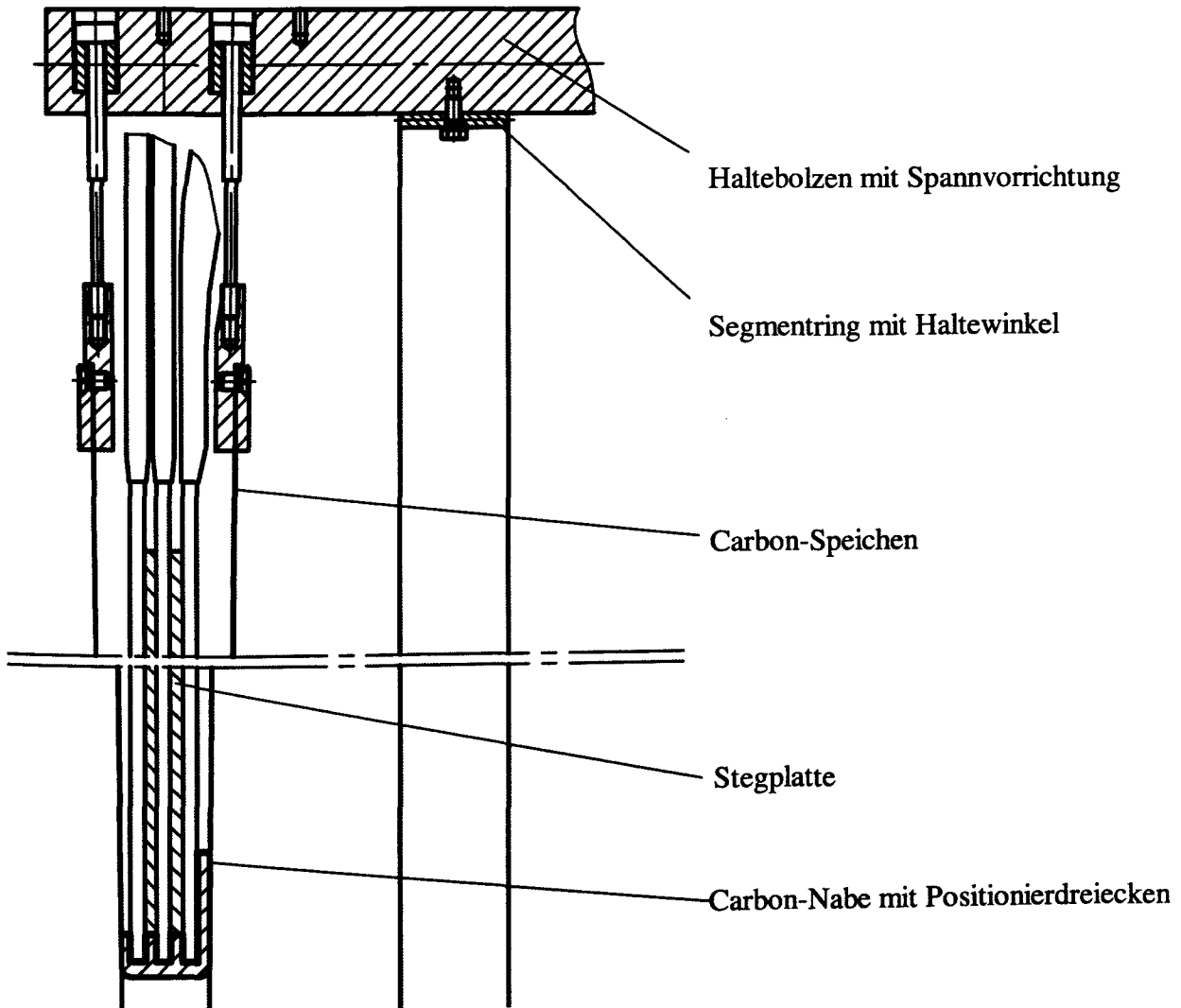
Carbon-Nabe mit Positionierdreiecken

Carbon-Speichen

Haltebolzen mit Spannvorrichtung

Segmentringe mit Haltewinkeln

Stegplatte mit Carbonstreifen



Die Szintillatoren werden in der Carbon-Nabe gehalten und positioniert. Durch zwölf Carbon-Speichen, die mit ca. 40 kp vorgespannt werden, wird die Nabe im TOF-Tank zentriert. Die Federn bzw. Distanzringe, die die Vorspannung erzeugen, befinden sich in einer Ausfräsung des Haltebolzens.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.1 Carbon-Nabe

3.1.1 Werkstoff

Carbonfaser UMS 2526 getränkt mit Epoxidharz (Harzanteil ca. 40%)

Werkstoffdaten der Faser:

Dichte	$1,6 \text{ kg / dm}^3$
Zugfestigkeit	4900 N / mm^2
E-Modul	380000 N / mm^2
Bruchdehnung	$1,2 \%$
Wärmeausdehnung	$- 0,65 \cdot 10^{-6} \text{ 1 / K}$

Vorteile des Werkstoffs:

- Hohe Zugfestigkeit
- Geringes Gewicht
- Geringe Wärmeausdehnung
- Gute Strahlendurchlässigkeit

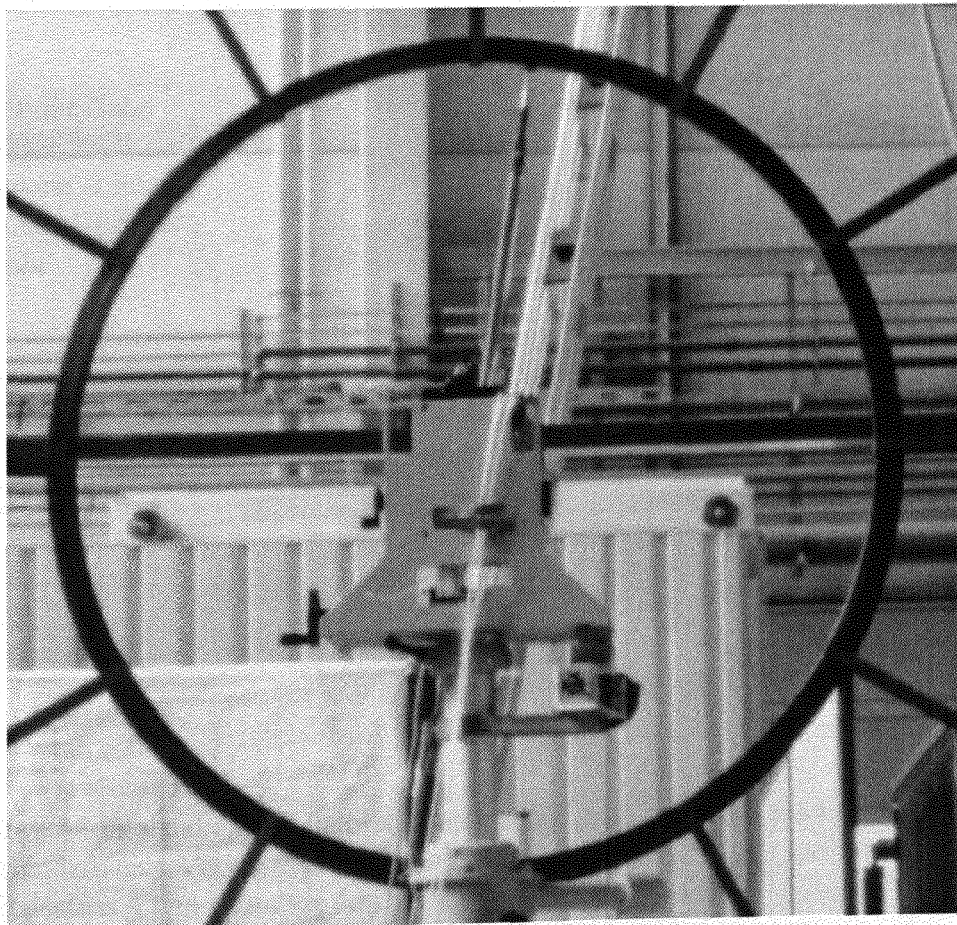


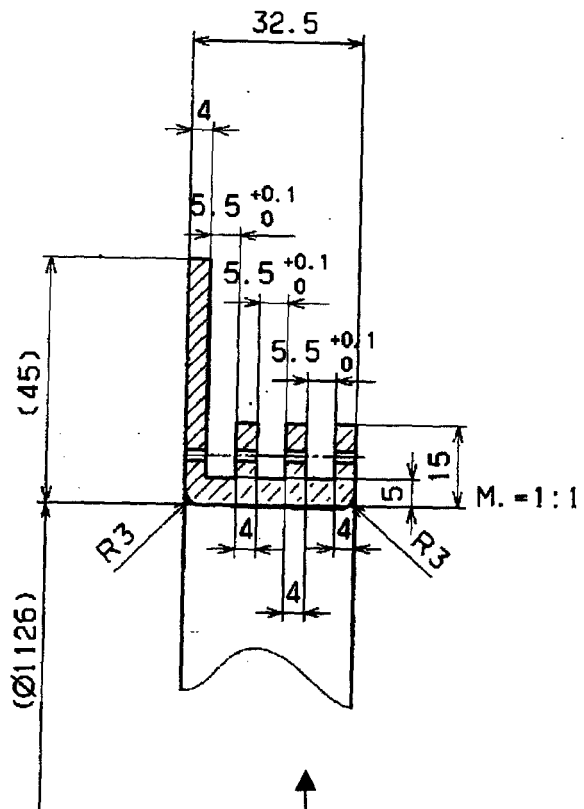
Bild 5: Carbon-Nabe

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.1.2 Konstruktion

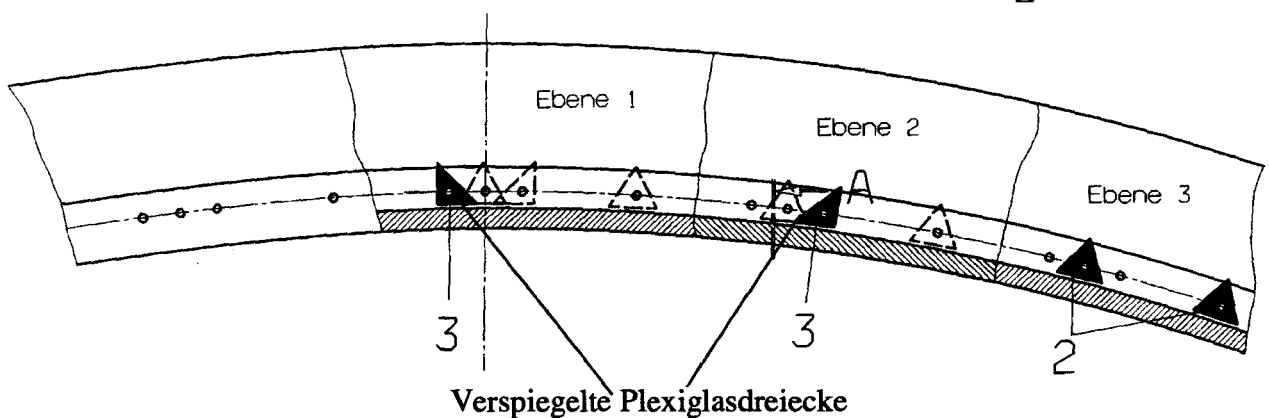
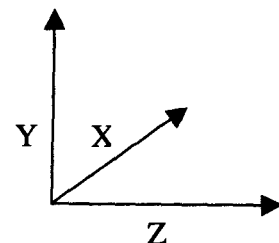
Geometriedaten:

Außendurchmesser	1216 mm
Innendurchmesser	1126 mm
Nutgrunddurchmesser	1136 mm
Nuttiefe	10 mm
Nutbreite	5,5 mm
Gesamtbreite	32,5 mm
Gewicht	ca 2,5 kg



Vorderansicht der Nabe

- Ebene 1: 'Banane'-Links
- Ebene 2: 'Banane'-Rechts
- Ebene 3: 'Pizza'



Die Nabe hat die Aufgabe die Szintillatorstreifen in allen Richtungen zu positionieren. Die Nuten in der Nabe verhindern eine Verschiebung in axialer Richtung (Z-Richtung) und gewährleisten einen Spalt von mindestens 4 mm zwischen den Szintillatorebenen. In radialer Richtung (Y-Richtung) werden die Szintillatoren begrenzt durch den Nutgrund, und in Umfangsrichtung (X-Richtung) werden sie durch verspiegelte Plexiglasdreiecke positioniert.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.1.3 Wickeln und mechanische Fertigung

Das Wickeln der Carbon-Nabe wurde im IKV (Institut für Kunststoff-Verarbeitung) der RWTH Aachen durchgeführt:

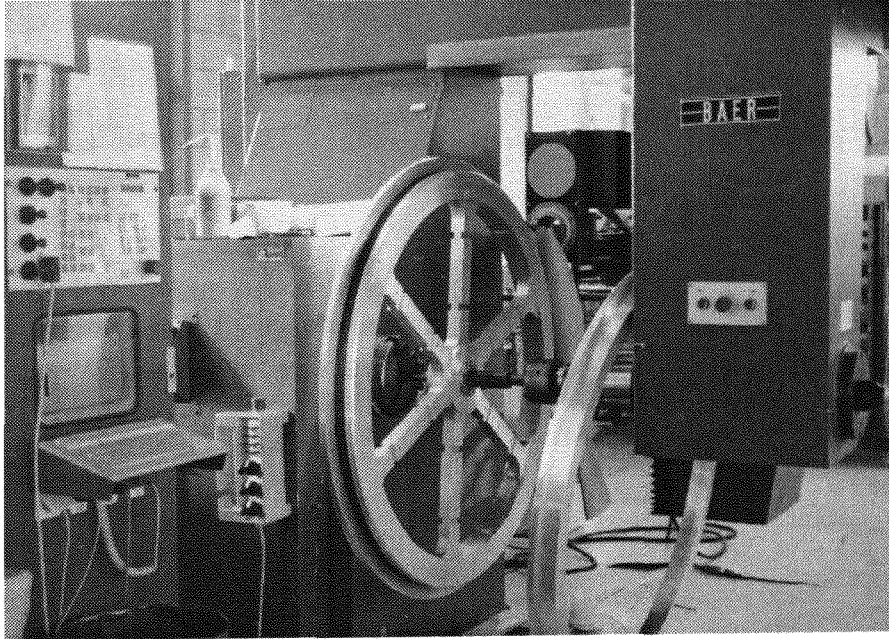


Bild 6: Wickelanlage mit Alu-Speichenrad und Carbon-Nabe

Anschließend wurde die Nabe im ZAT-MF mechanisch bearbeitet:

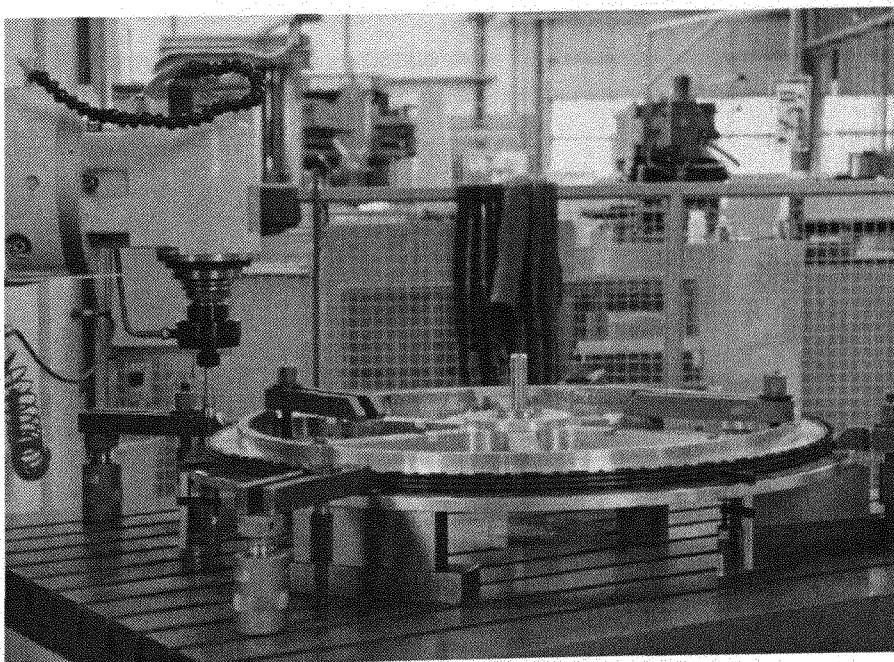


Bild 7: Alu-Speichenrad und Carbon-Nabe auf dem Bohrwerk

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.2 Carbon-Speichen

Faserverbundstoff CFK (Preprags) der Firma Ciba-Geigy:

Preprags: vorgetränktes Fasergebilde, ein zum Verarbeiten fertiges, mit einem vorvernetzten Harzsystem getränktes textiles Halbzeug, das unter Druck und Hitze ausgehärtet wird.

TYP	Fibredux 920 CX - TS - 133 - 43%
Harz-Typ	920
Harz-Anteil	43 %
Fasermaterial	Carbon T 300
Foliendicke	0,15 mm
3 Lagen	2 Lagen Längsrichtung 1 Lage Querrichtung
Dichte	1,6 kg / dm ³
Zugfestigkeit	1650 N / mm ²
E-Modul	120000 N / mm ²
Bruchdehnung	1,2 %

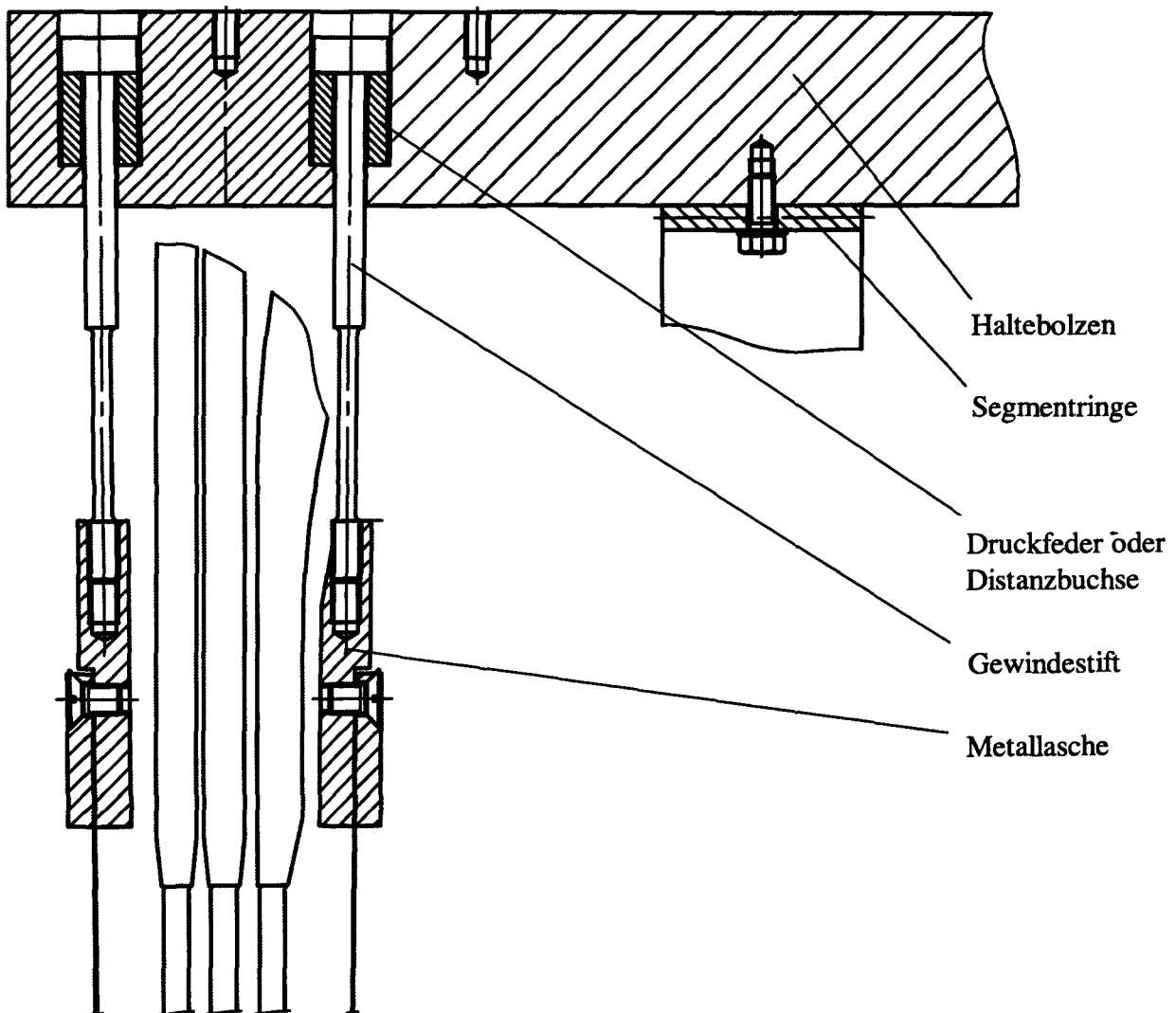
Geometriedaten:

Gestreckte Länge	2073 mm
Schenkellänge	1020 mm
Breite	20 mm
Dicke	0,45 mm

Die Speichen sind U-förmig gebogen. Sie dienen zum Spannen und Zentrieren der Nabe im TOF-Vakuumtank. Die Carbonspeichen haben praktisch keine Längendehnung, so daß die exakte Lage der Nabe über lange Zeit gewährleistet ist.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.3 Haltebolzen mit Spannvorrichtung



Jeder vierte Stützbolzen des TOF-Rings wird ersetzt durch einen Haltebolzen, in dem die Spannvorrichtung der Carbon-Nabe sitzt. Die 12 Haltebolzen sind mit zwei M12 Schrauben am Ring befestigt. Der Winkel zwischen den Bolzen beträgt 30° . In den zwei Einfräsungen am Ende der Bolzen befinden sich Gewindestifte und Druckfedern, bzw. Distanzbuchsen, zum Einstellen der Vorspannung und Ausrichten der Carbon-Nabe. Die Gewindestifte werden in Metallaschen eingeschraubt, die wiederum mit den Carbon-Speichen verschraubt und verklebt sind (Kleber Araldit 2013).

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.4 Segmentringe mit Haltewinkel und Spannbügel

Am Haltebolzen sind für jede der drei Szintillatorebenen Segmentringe (6-60°) angeschraubt. Auf diesen Segmentringen sind für jeden Lichtleiter Haltewinkel und Spannbügel angebracht, die für eine zusätzlichen Befestigung der Szintillatoren und Lichtleiter sorgen

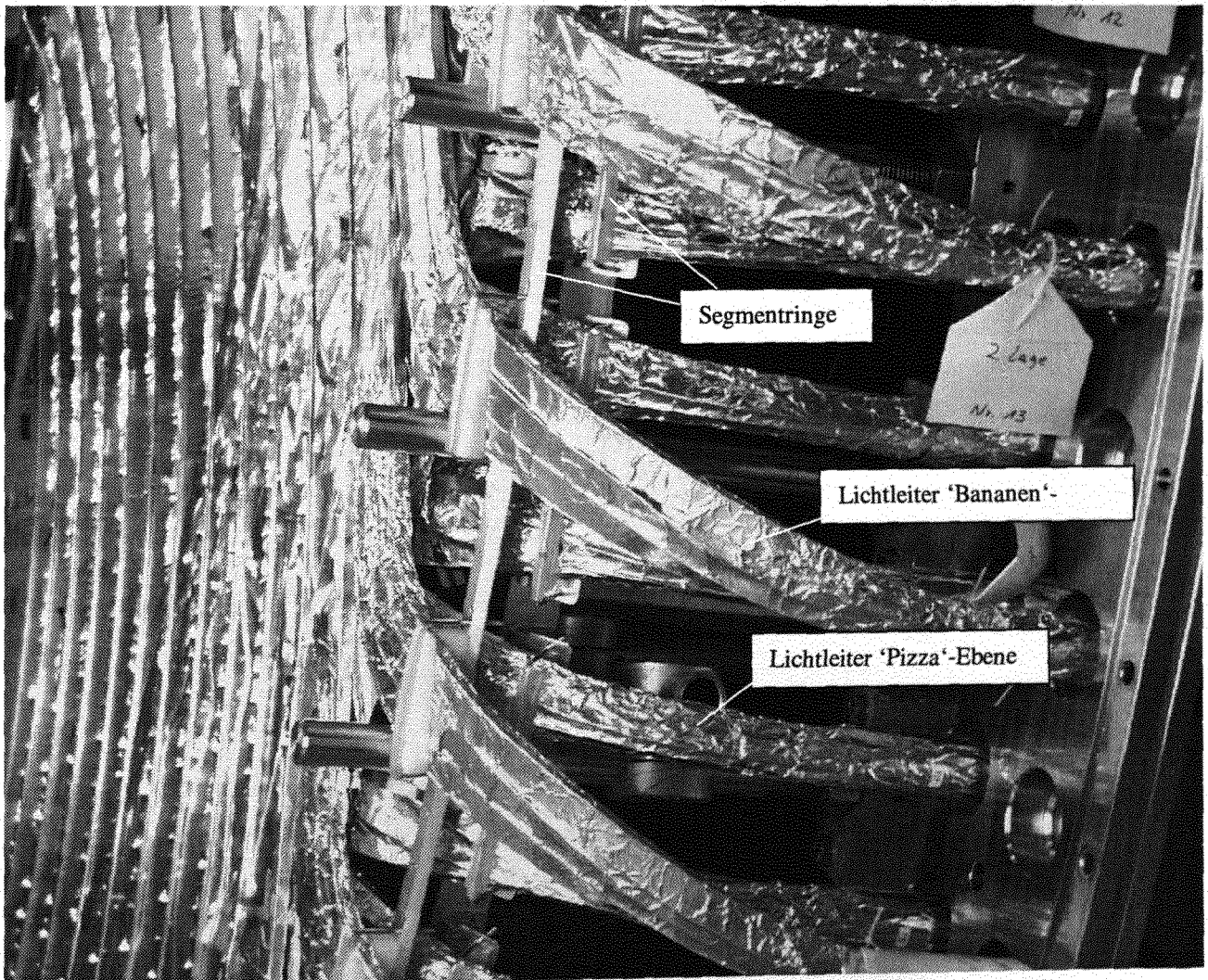
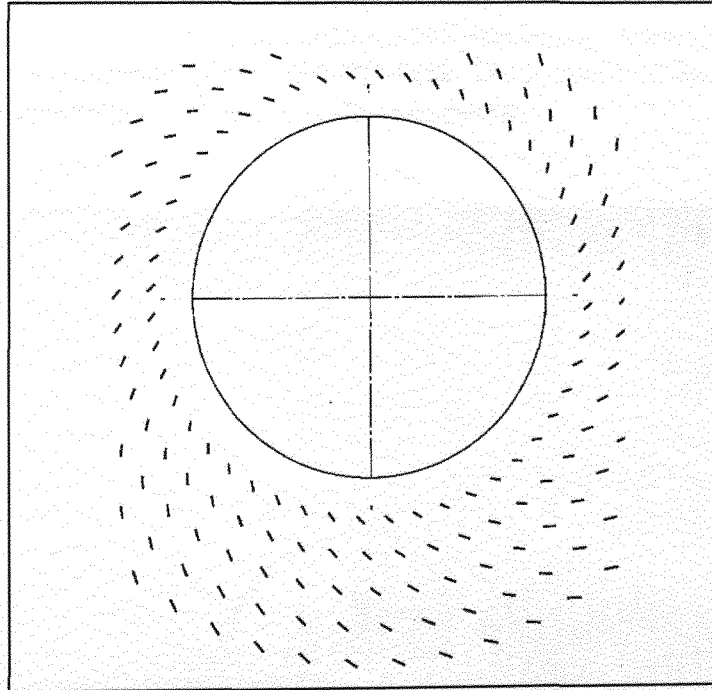


Bild 8: Zusatzhalterung der Lichtleiter

TOF-Szintillator-Ringdetektor

3.5 Stegplatte mit Carbonstreifen

Zur genauen Positionierung der 'Bananen'-Szintillatoren wurde zwischen den Ebenen 4mm dicke Plexiglas-Stegplatten installiert. In diese Stegplatten wurden mittels Laserstrahl 0,3 mm breite Schlitzte gebrannt, die exakt der Kontur der Bananen entsprechen (archimedische Spirale). In diese Schlitzte werden Carbonstreifen gelegt, die die 'Bananen'-Elemente genau positionieren und unterstützen.



4 mm dicke Plexiglas-Stegplatte

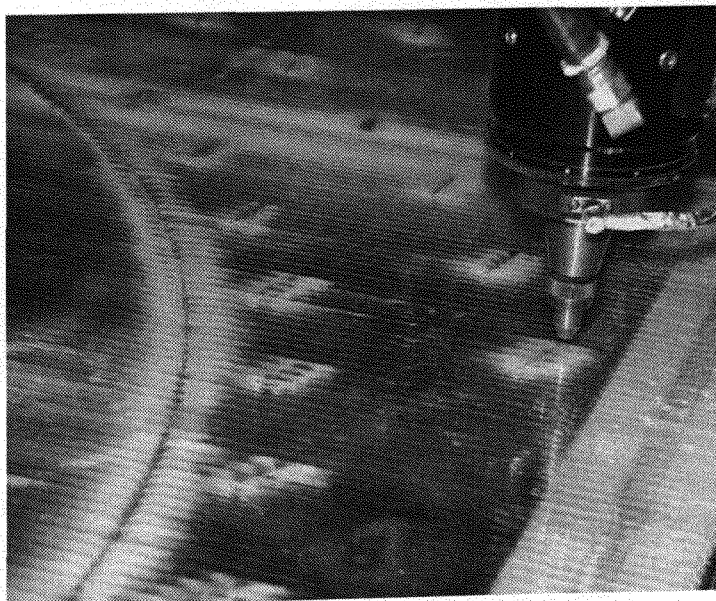


Bild 9: Schneiden der Stegplatte mit dem Laserstrahl

TOF-Szintillator-Ringdetektor

4 Vorversuche

4.1 Carbon-Nabe und Carbonspeichen

An der Carbon-Nabe wurden in der ZAT-Halle durch die Fachgruppe Entwicklung und Erprobung Rundheits- und Verformungsmessungen durchgeführt.

Hierzu wurde ein Testgestell aus Profilverbindungselementen der Firma Rose und Krieger aufgebaut, dessen Teilkreisdurchmesser der Haltebolzen 3385 mm betrug. Dieses entspricht dem Teilkreisdurchmesser der Originalhaltebolzen am TOF-Tank. Die Justier- und Spannelemente der Carbon-Nabe sind Originalteile des Szintillator-Ringdetektors.

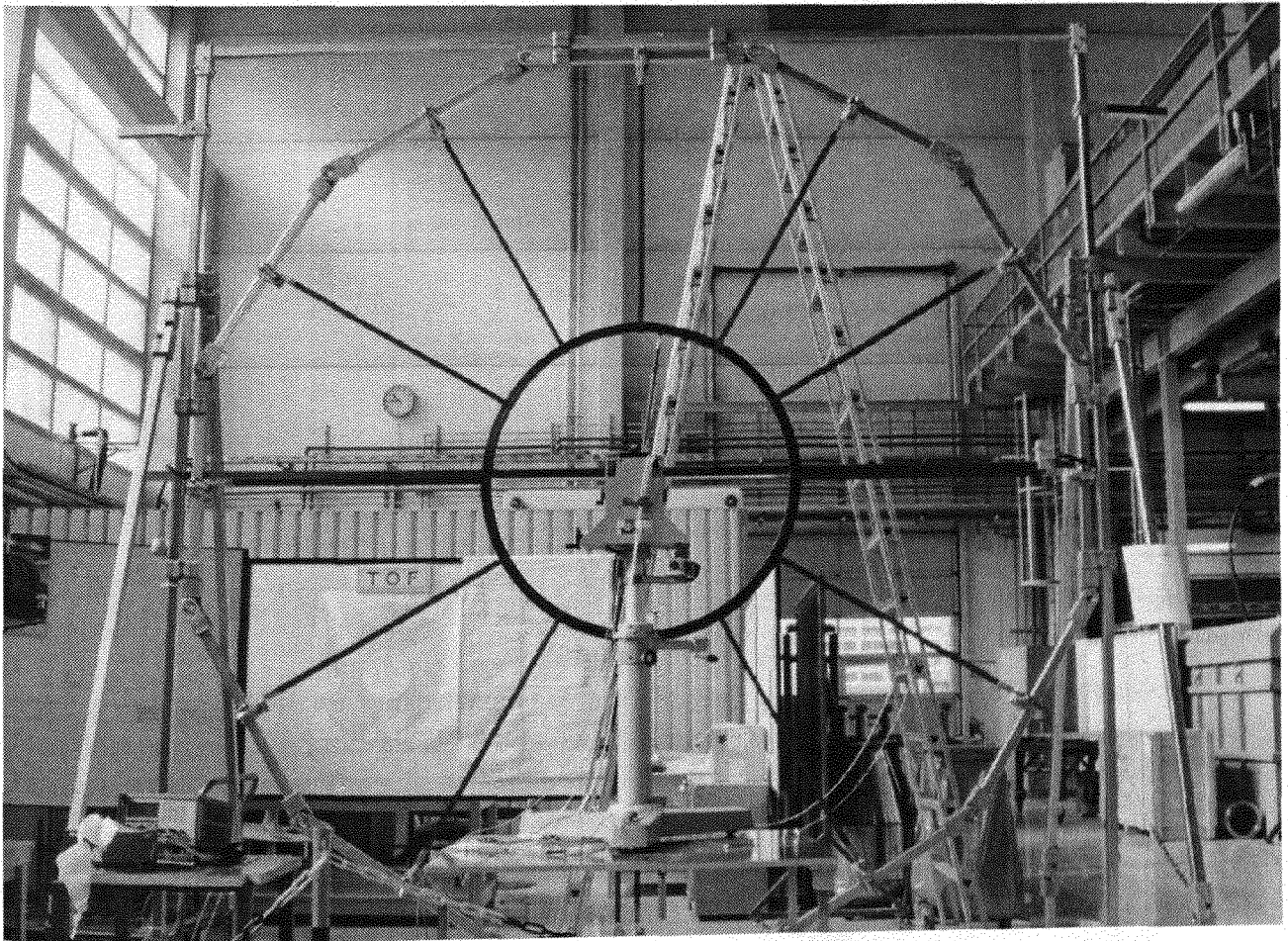


Bild 10: Testgestell mit Carbon-Nabe, Carbon-Speichen und Weg-Meßsystem (Lasertaster Wenglor Sensoric)

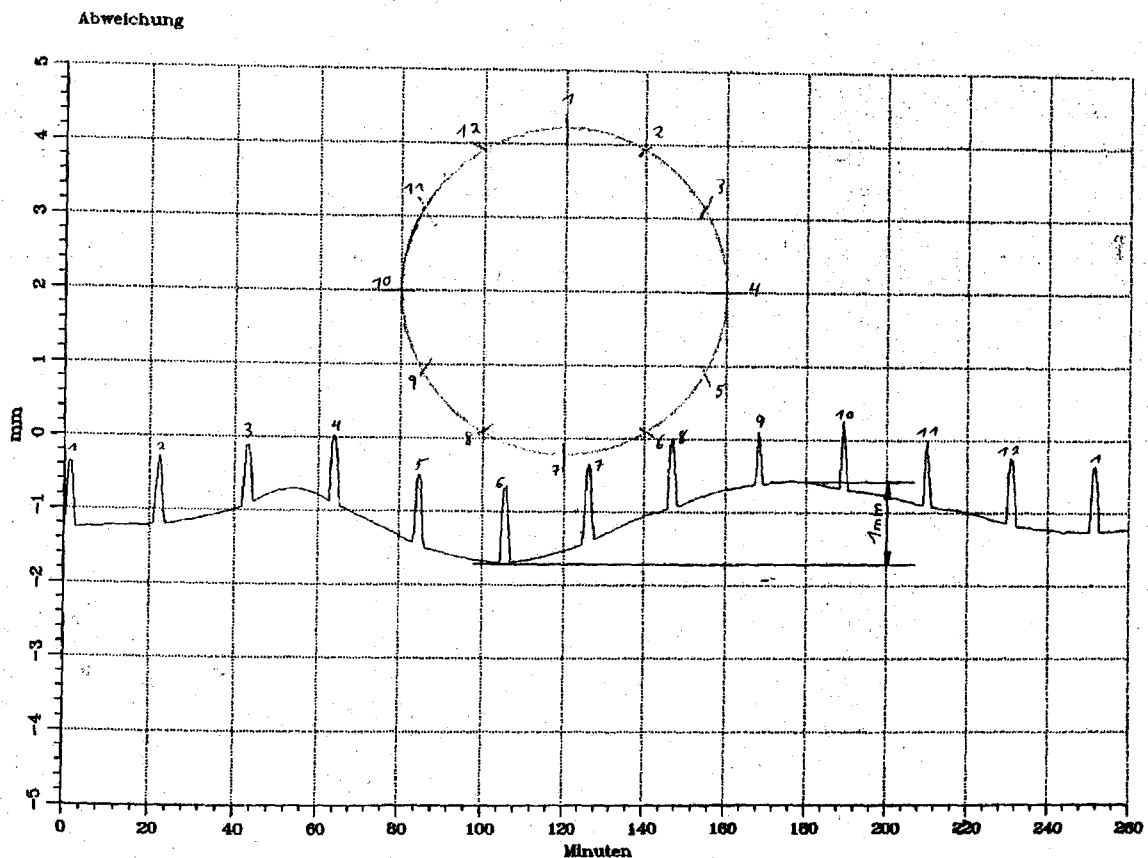
Die Rundheitsmessungen der Nabe wurde mit einem Lasertaster, der an einem Arm befestigt war, durchgeführt. Der Arm war mit einem Schrittmotor verbunden, der 1500 Meßschritte pro Umlauf macht. Das bedeutet, daß alle $0,24^\circ$ oder, bei einem Umfang von 3537 mm, alle 2,358 mm ein Meßwert registriert wurde.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Die Vorspannung der Nabe wurde durch Verstellen des Federwegs in der Halterung variiert. Es wurden Messungen mit 40 kp, 60 kp und 80 kp pro Carbon-Speiche gemacht. Das folgende Diagramm zeigt eine Messung mit 40 kp Federkraft pro Speiche, wobei die Peaks die Materialstärke der Spannbänder bedeuten.

Y-Achse: Abweichungen vom theoretischen Durchmesser in mm

X-Achse: Meßzeit in Minuten bzw. Meßweg ($U = d \cdot \pi \approx 250 \text{ min}$)

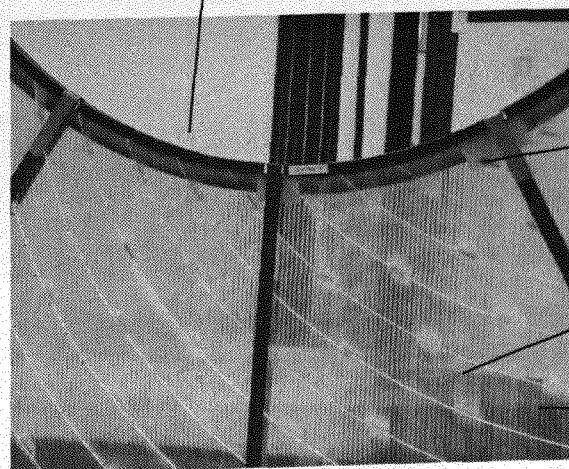
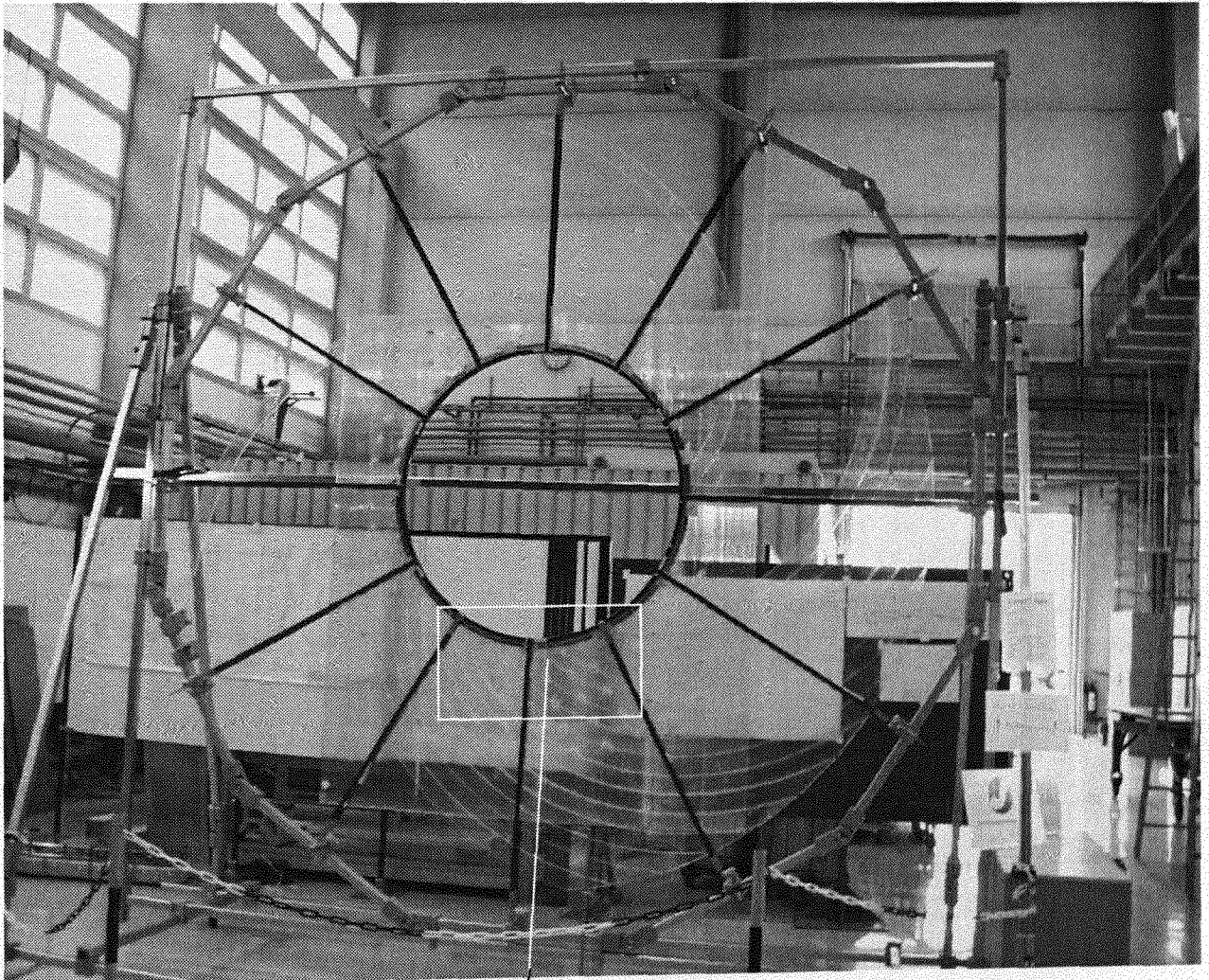


Die Messungen mit 40 kp Vorspannung pro Speiche ergaben eine Abweichung vom theoretischen Durchmesser von $\pm 0,5 \text{ mm}$ bis $\pm 0,8 \text{ mm}$, was bei einem Durchmesser von 1126 mm eine Unrundheit von weniger als ein Promille bedeutet. Bei weiteren Messungen wurde dieses Ergebnis bestätigt. Es wurden keine merklichen Veränderungen über einen Zeitraum von 10 Monaten festgestellt.

Datum	Vorsspannung in kp	Unrundheit in mm	Unrundheit in Promill
05.07.97.	40	$\pm 0,6$	0,55
02.09.97	40	$\pm 0,8$	0,70
09.09.97	40	$\pm 0,5$	0,50
17.09.97	40	$\pm 0,6$	0,65
04.11.97	40	$\pm 0,5$	0,50
11.02.98	40	$\pm 0,5$	0,45
18.02.98	Bänder gelöst, keine Vorspannung	Keine Messung	Keine Messung
14.05.98	40	$\pm 0,7$	0,70

TOF-Szintillator-Ringdetektor

4.2 Testaufbau der 'Banane'-Rechts-Ebene mit Stegplatte und Carbonstreifen



Carbonstreifen

Stegplatte

Szintillatorstreifen

Bild 11: Stegplatte mit Carbonstreifen

TOF-Szintillator-Ringdetektor

4.3 Testaufbau der drei Szintillatorebenen mit Stegplatte und Carbonstreifen

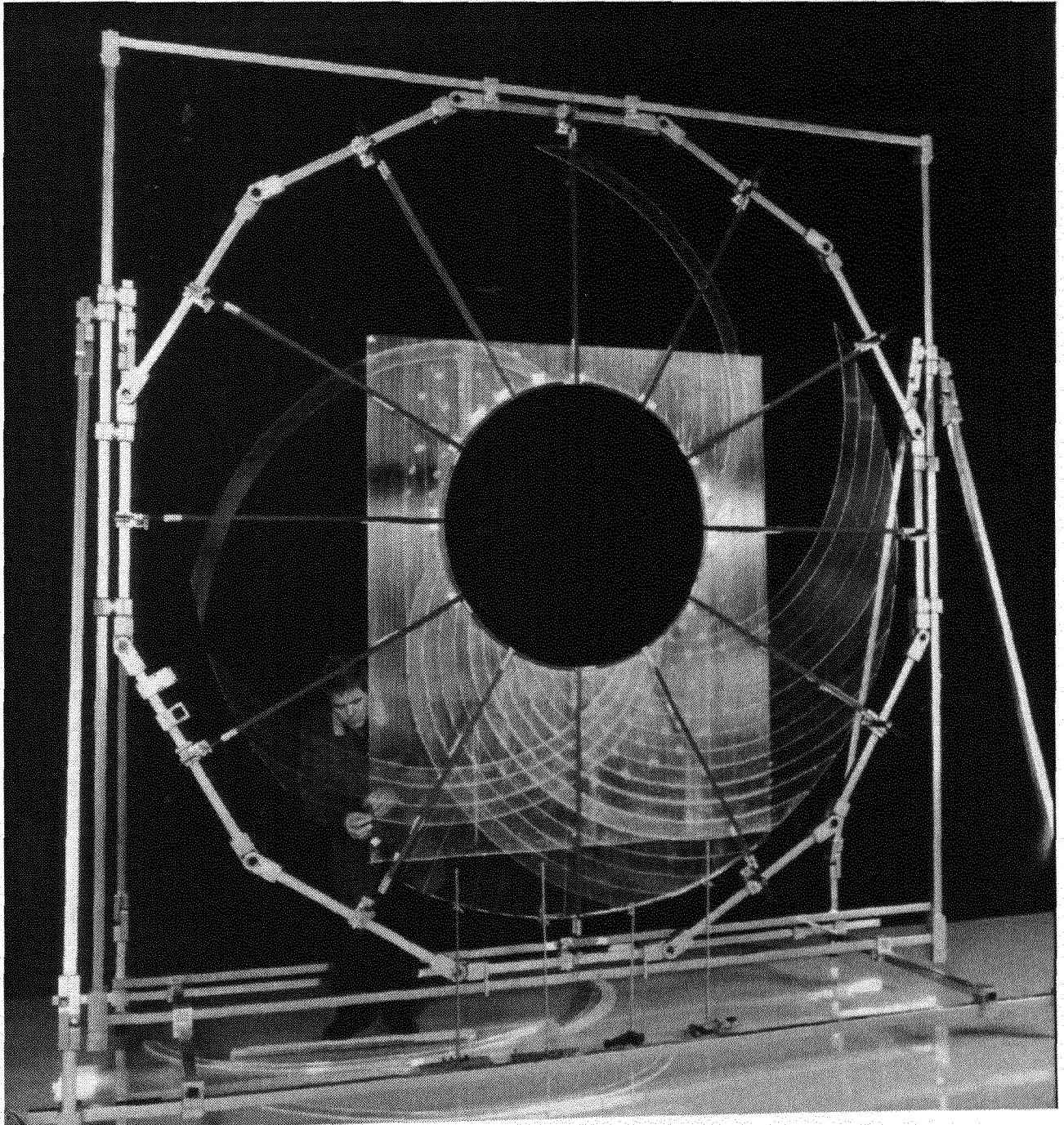


Bild 12: Testaufbau in der ZAT-Halle

TOF-Szintillator-Ringdetektor

4.4 Ausgasungsmessungen an Werkstoffproben

In der Fachgruppe Prüf- und Abnahmetechnik der ZAT wurden verschiedene Werkstoffe auf ihre Verwendbarkeit im Vakuum geprüft.

Hierzu wurden die Proben in einen Rezipienten eingebracht, der im leeren Zustand mit trockenem N_2 geflutet worden war. Anschließend wurde das Massenspektrometer kalibriert und eine Restgasmessung durchgeführt.

Nach Erreichen des erforderlichen Totaldrucks $p_{tot} = 5 \cdot 10^{-5}$ mbar wurde mit den massenspektrometrischen Messungen begonnen.

Nach der Aufnahme von Analogspektren wurde die Trendmessung, von der die Leermessung subtrahiert wurde, zur Bestimmung von Partialdruck und Ausgasungsstromdichte für ausgewählte Massen gestartet. Bei Feststellung eines annähernd linearen Druckverlaufs wurde die Trendmessung beendet und erneut Analogspektren aufgenommen.

Es wurden folgende Werkstoffe untersucht.

Plattenmaterial:	Vorwerk-Technotex 7 mm dick
	Rohacell 10 mm dick
	Epoxidharz aufgeschäumt 10 mm dick

Ausgewählt für den Einsatz im TOF-Tank wurde der Werkstoff Rohacell-Plattenmaterial.

Rohacell-Plattenmaterial 10 mm dick:

Rohacell ist ein offenporiger PMI-Hartschaum mit guten mechanischen Eigenschaften, der sich ausgezeichnet bearbeiten lässt und auch bedingt im Vakuum einsetzbar ist.

Die Ausgasungsmessungen ergaben nach 48 Stunden einen Totaldruck $p_{tot} = 5 \cdot 10^{-6}$ mbar.

Als Hauptbestandteil im Restgasspektrum wurde Wasserdampf registriert. Weiterhin detektierte man H_2 , N_2/CO , CO_2 und C und Bestandteile von Kohlenwasserstoffgruppen, deren Ausgasungsstromdichten jedoch mehrere Größenordnungen kleiner waren.

Da das Vakuum im TOF-Behälter zwischen 10^{-2} mbar und 10^{-3} mbar ist, eignet sich der untersuchte Werkstoff Rohacell für diesen Einsatzfall.

TOF-Szintillator-Ringdetektor

5 Montage des Szintillator-Ringdetektors

Die Montagearbeiten wurden von Mitarbeitern der IKP-Werkstatt durchgeführt.

Als Tragegestell für den Szintillatorring wurde ein Barrel des TOF-Tanks benutzt. Im Zentrum der Barrel-Stirnfläche wurde das Alu-Speichenrad, welches schon zum Wickeln der Carbon-Nabe diente, durch ein Gestell montiert und justiert (Bild 13). Anschließend wurde die Carbon-Nabe auf dem Speichenrad befestigt.

Danach wurden die einzelnen Ebenen montiert:

Ebene 1 'Pizza'-Szintillatoren (Bild 14)

Ebene 2 'Banane'-Rechts-Szintillatoren (Bild 15)

Ebene 3 'Banane'-Links-Szintillatoren (Bild 16)

Zwischen den Ebenen 1-2 und 2-3 befinden sich die Stegplatten mit den Carbon-Streifen zum Positionieren der 'Bananen'-Szintillatoren.

Jeweils eine Kante der Szintillatorstreifen ist mit U-förmiger Aluminium-Folie abgedeckt. Die Stirnflächen der Szintillatorebenen sind mit Mylerfolie, die mit Aluminium bedampft ist, lichtdicht verpackt. Somit wird verhindert, daß Licht von einem zum anderen Szintillatorstreifen und von einer zur anderen Szintillatorebene gelangen kann.

Nach der Montage der Szintillator-Ebenen wurden die Carbon-Speichen zum Spannen und Zentrieren der Carbon-Nabe angebracht. Danach wurde das Alu-Speichenrad von der Carbon-Nabe gelöst und aus dem Zentrum gefahren.

Jetzt konnte der Szintillatorring vom Montage-Barrel gelöst werden und an das Rossendorfer-Barrel angeschraubt werden (Bild 18). Zum Schluß wurde in das Zentrum des Ringdetektors der Quirl eingebaut und die gesamte Anlage verkabelt (Bild 19).

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Speichenrad mit Montagegestell

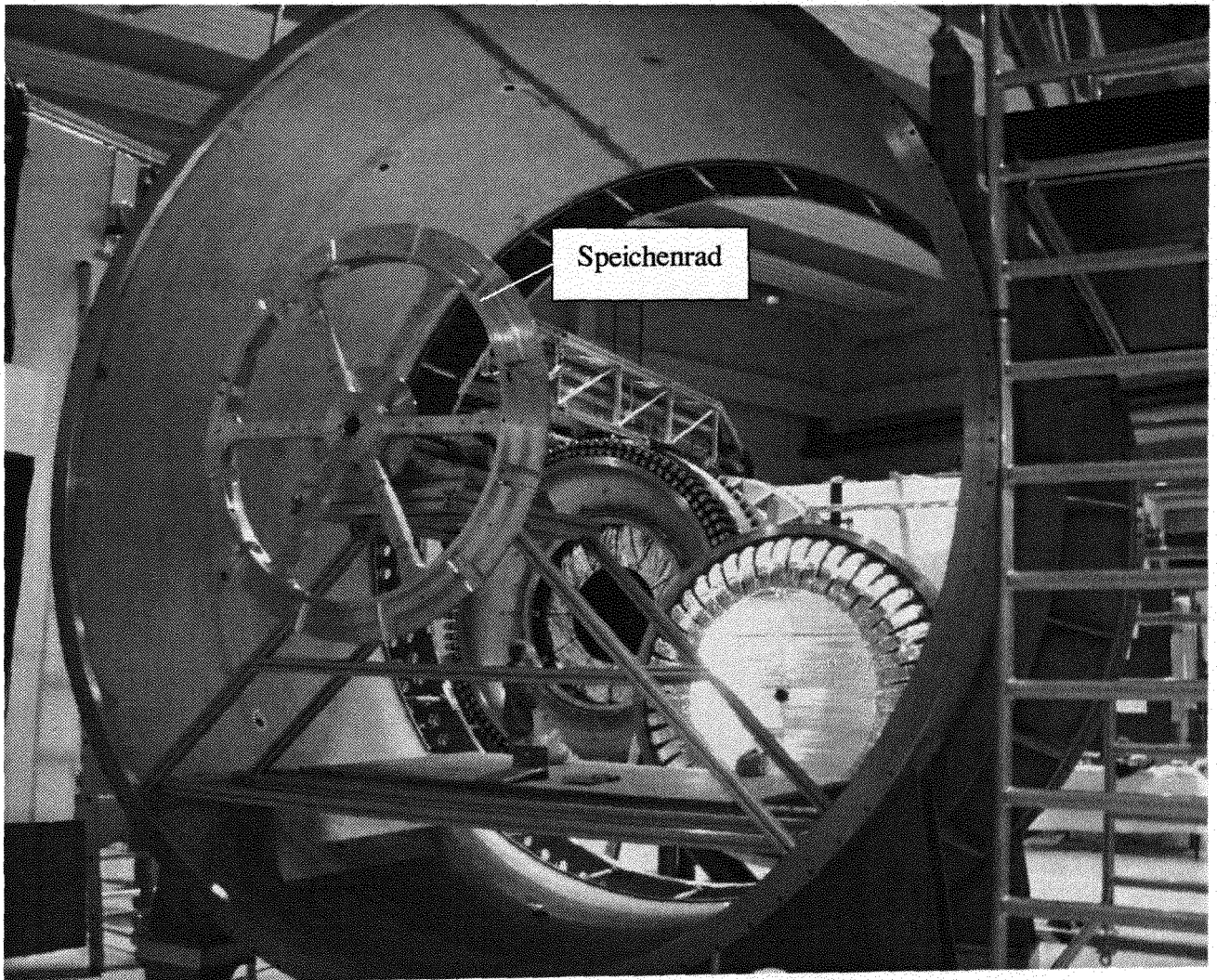


Bild 13: Speichenrad mit Montagegestell

TOF-Szintillator-Ringdetektor

‘Pizza’-Ebene

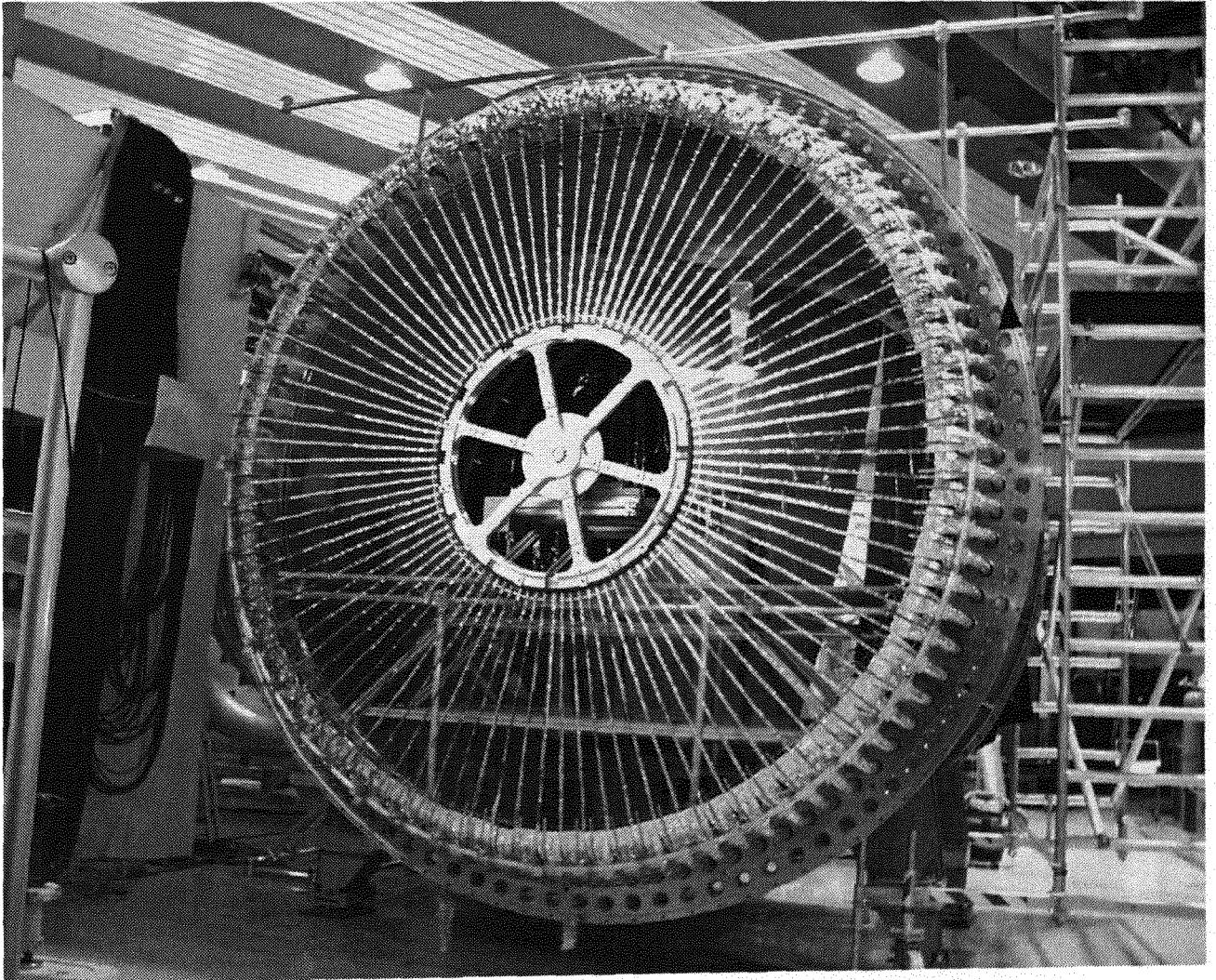


Bild 14. ‘Pizza’-Ebene

TOF-Szintillator-Ringdetektor

‘Banane’-Rechts-Ebene

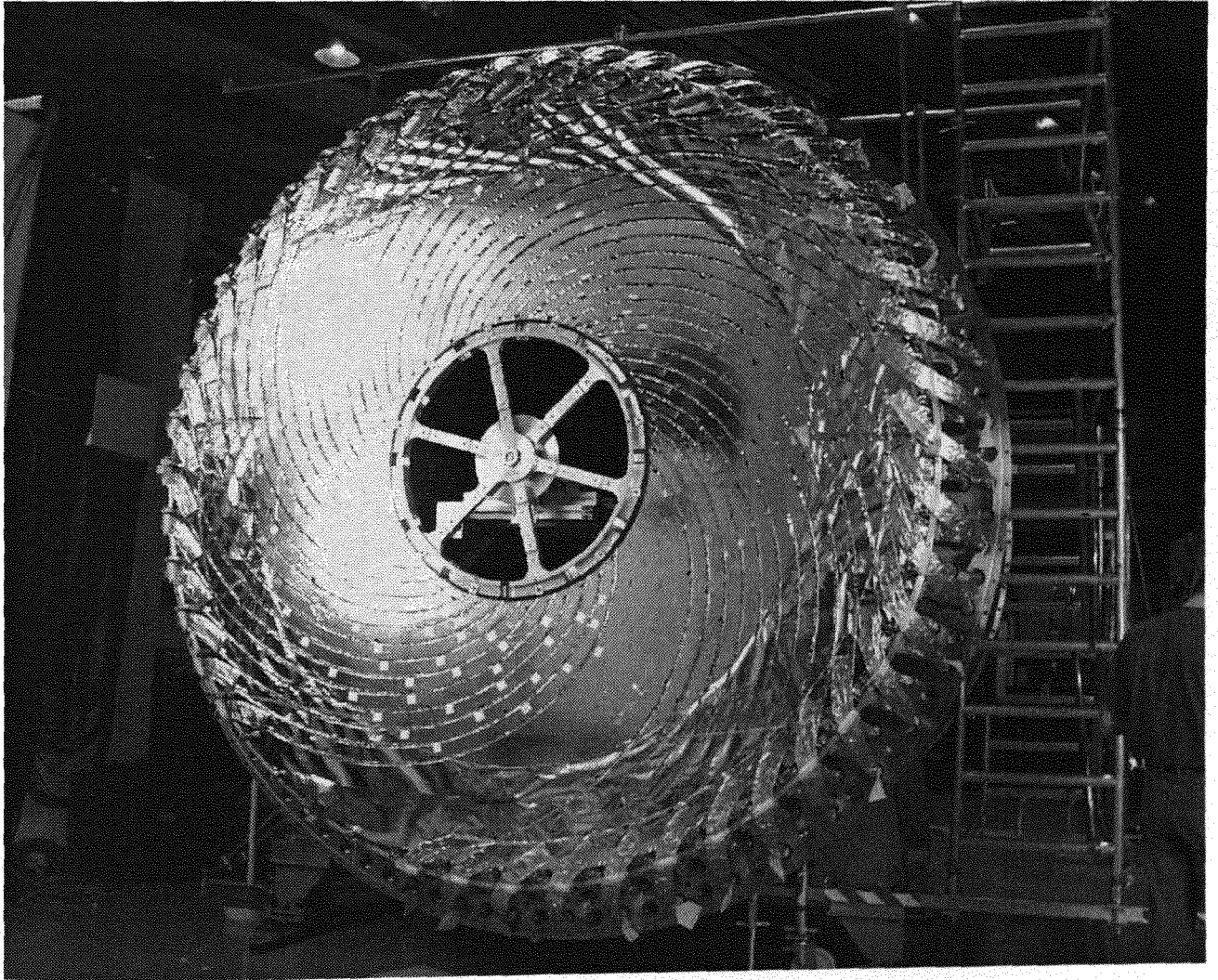


Bild 15: ‘Banane’-Rechts-Ebene

TOF-Szintillator-Ringdetektor

‘Banane’-Links-Ebene

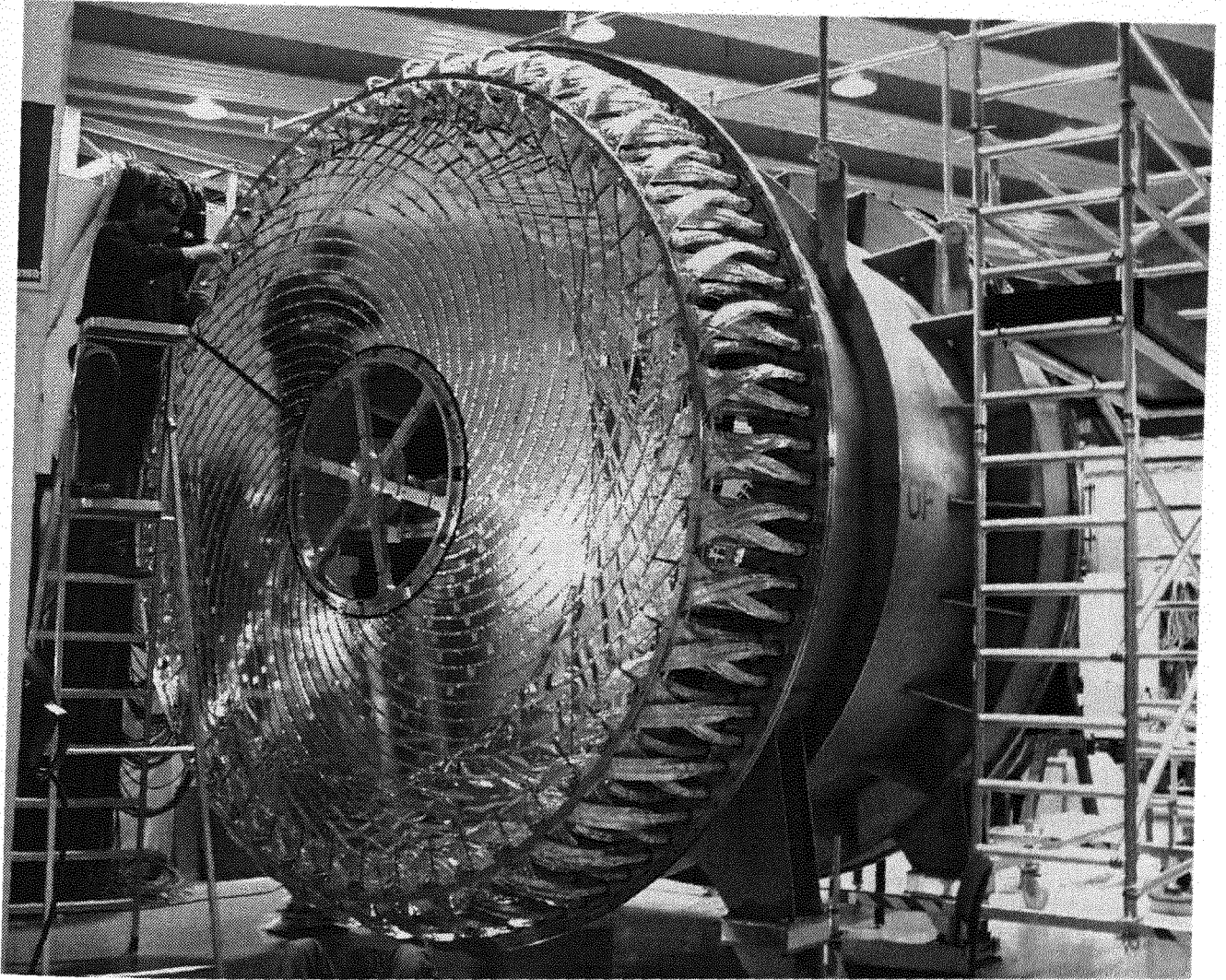


Bild 16: ‘Banane’-Links-Ebene

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Rosendorfer-Barrel mit Startdetektor

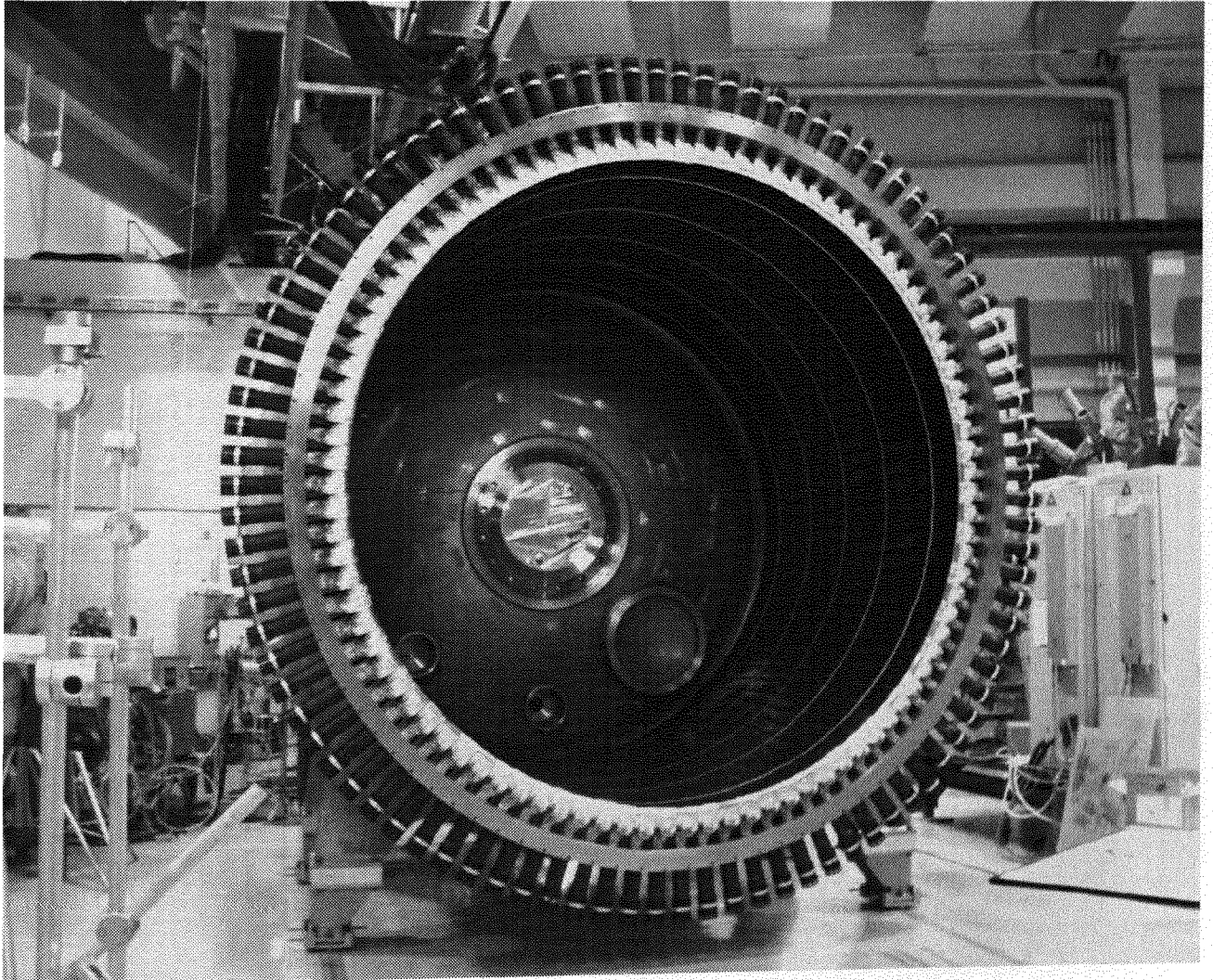


Bild 17: Rosendorfer-Barrel mit Startdetektor

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Rossendorfer-Barrel mit Szintillator-Ringdetektor

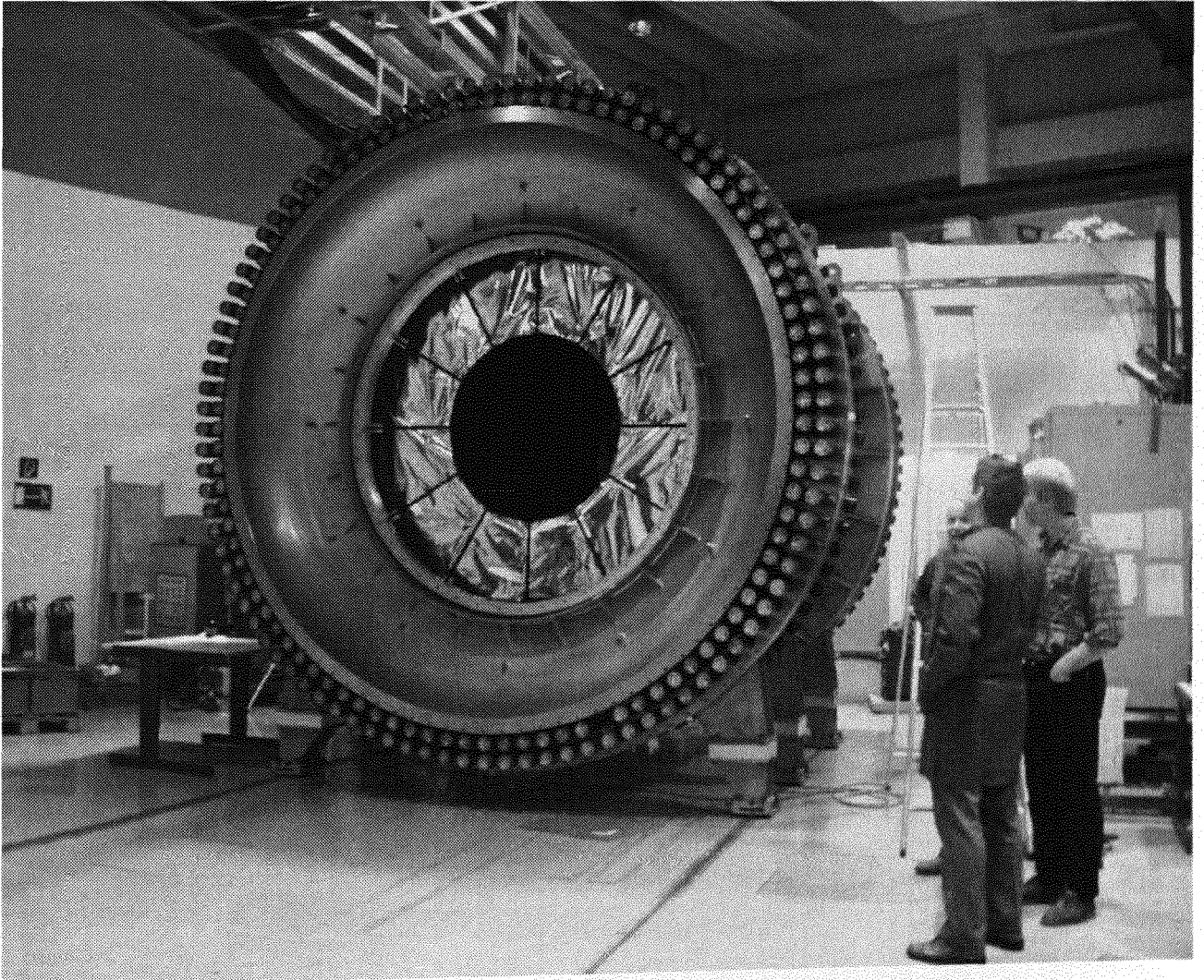


Bild 18: Rossendorfer-Barrel mit Szintillator-Ringdetektor

TOF-Szintillator-Ringdetektor

Gesamtaufbau

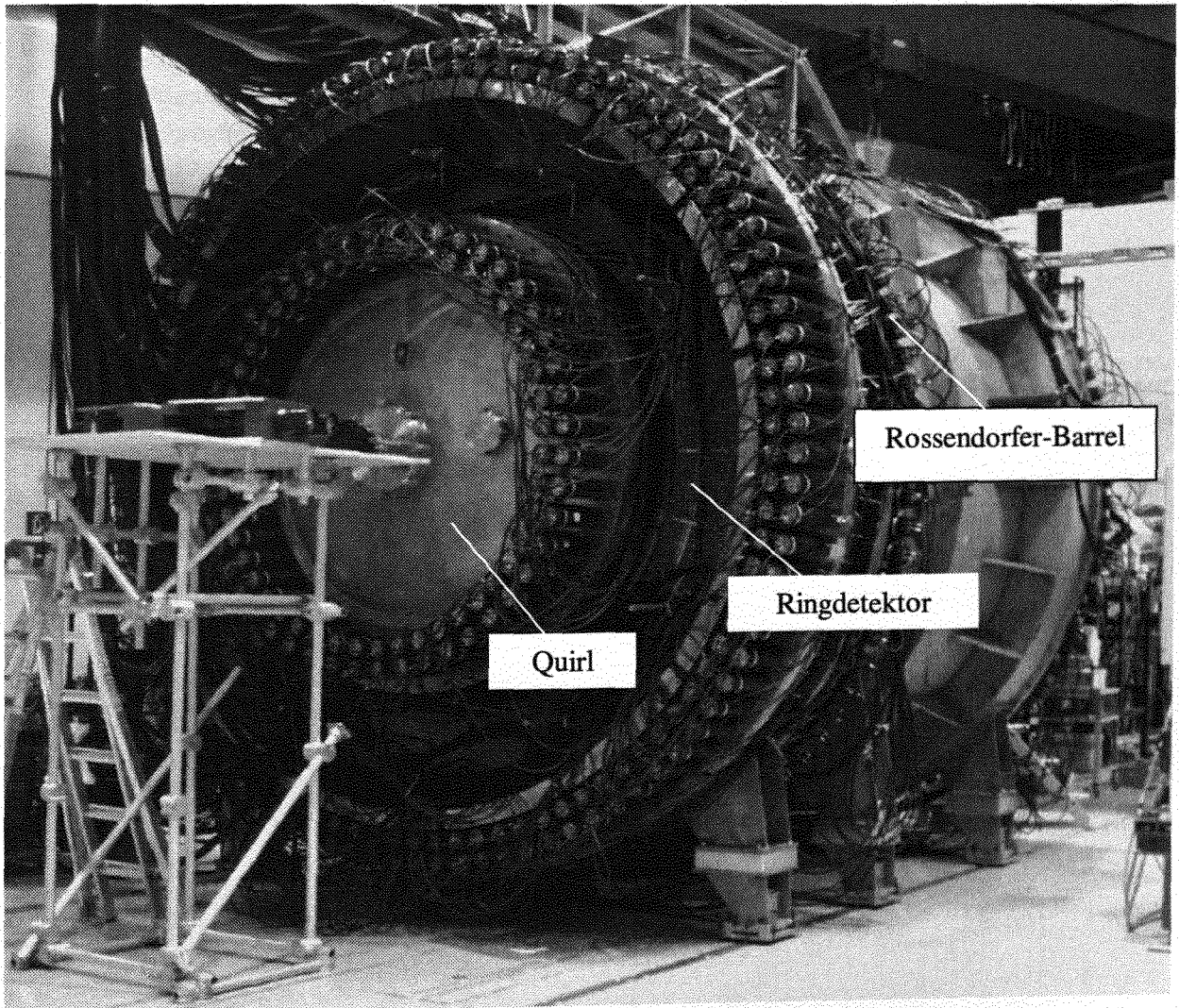


Bild 19: Gesamtaufbau

TOF-Szintillator-Ringdetektor

6 Literaturverzeichnis

- [1] Kurt Kilian, Rudolf Maier, Otto Schult, Kornelius Sistemich, Josef Speth
Physik an COSY: Von Kräften und Symmetrien
Forschungszentrum Jülich
Jahresbericht 96

- [2] Jens Barth / Uni-Bonn 1997
Kopie aus dem Internet
Szintillatorblock
Bestandteile eines Zählers
Photomultiplier
Fishtail

- [3] Bartsch
Mathematische Formeln
VEB Fachbuchverlag Leipzig 1973

Forschungszentrum Jülich



Jül-3629
Januar 1999
ISSN 0944-2952